



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos.*  
**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



# **Medidas urbanísticas de adaptación al cambio climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)**

Trabajo realizado por:

***Nuria Pérez Celaya***

Dirigido:

***Cecilia Ribalaygua Batalla***

***Francisco José García Sánchez***

Titulación:

**Máster Universitario en  
Ingeniería de Caminos,  
Canales y Puertos**

Santander, diciembre de 2020

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

## Resumen

La integración de medidas de adaptación en el planeamiento urbanístico es una herramienta eficaz contra el cambio climático. Este tipo de soluciones representan un avance en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en lo que respecta al objetivo 11, que busca la sostenibilidad en las ciudades, y el 13, que trata de promover la acción por el clima. En este sentido, las medidas desarrolladas en este trabajo buscan reducir los impactos potenciales del cambio climático, incorporando políticas, planes y programas sostenibles con el fin de mejorar la resiliencia urbana. Para el avance en este campo, se propone el análisis de la situación de riesgo ante los efectos del cambio climático y la definición de soluciones en un caso concreto: la ciudad de Puerto Ayora en la isla de Santa Cruz de Galápagos.

Puerto Ayora se enfrenta a diversos retos derivados del cambio climático, entre los que destaca el incremento de los episodios de inundación en el entorno urbano. Debido a las características orográficas de la ciudad, estos episodios se localizan en diversas zonas de encharcamiento. Las previsiones climáticas para las próximas décadas indican que los eventos hidrometeorológicos causantes de las inundaciones, como los fenómenos de El Niño, van a verse incrementados, tanto en frecuencia, como en intensidad. Por esta razón, surge la necesidad de estudiar los riesgos derivados de los encharcamientos sobre los sistemas humanos y materiales de la ciudad con el fin de plantear medidas de adaptación a este tipo de evento.

A lo largo de este estudio, se ha desarrollado una metodología de cálculo y cuantificación del riesgo basada en la propuesta del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), según la cual el riesgo es dependiente de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad. El análisis se basa en la utilización de varios indicadores que definen estos factores del riesgo. Cinco de ellos, los referentes a amenaza y exposición, han sido elaborados expresamente para este estudio en función de los datos disponibles sobre el área:

- Indicador de amenaza por área encharcada.
- Indicador de amenaza por volumen de encharcamiento.
- Indicador de exposición de población.
- Indicador de exposición de equipamientos.
- Indicador de exposición del viario principal.

El estudio se centra en un área concreta del núcleo de Puerto Ayora, formada por 8 barrios del centro y sur de la ciudad, en la que se cuantifican hasta 29 zonas inundables. Analizando los datos existentes sobre el área de estudio, se ha podido determinar numéricamente el riesgo asociado a los encharcamientos sobre cada zona de inundación y los barrios en las que se encuentran.

El análisis del riesgo ha revelado que el área más afectada es el barrio *Central*. Se trata de un barrio que, por su ubicación cercana a la costa, es predominantemente turístico y comercial, además de acoger varios servicios y edificios administrativos. También los barrios de *La Alborada* y *Pampas Coloradas* se encuentran bajo niveles de riesgo elevados. En este caso, se trata de barrios residenciales ubicados en la zona oeste del área de estudio.

Conocidos los resultados de riesgo, se ha procedido al establecimiento de barrios y zonas piloto sobre las que aplicar medidas de adaptación. Para ello, se han tomado los barrios más afectados, mencionados anteriormente, y las zonas de encharcamiento causantes de dicha afección, que son 27, 11 y 10, respectivamente.

La propuesta de medidas ha tenido en cuenta las características y limitaciones que presenta el área de estudio y, además, ha tratado de priorizar las medidas verdes e híbridas que aprovechen las ventajas de los ecosistemas. Una vez analizadas las potenciales soluciones, la propuesta final se ha basado en dos tipos de medidas: pozos profundos de infiltración e implantación de nuevos espacios verdes, que deberán ser adecuadamente integradas en el planeamiento urbanístico. La viabilidad de estas actuaciones ha quedado probada mediante el estudio de casos de éxito internacional y proyectos que avalan su eficacia.

La utilización de pozos profundos de infiltración permite aprovechar la gran capacidad de infiltración del suelo volcánico para captar y almacenar el agua de escorrentía que generan las inundaciones e infiltrarla al suelo de forma que se recargue el acuífero basal. El planteamiento de esta medida surge como respuesta a la gran complejidad de construcción de un sistema convencional de aguas residuales, consecuencia de la dureza del terreno, además está valorada positivamente por parte del Municipio, ya que supone una alternativa a los altos costes de financiación de la red de aguas pluviales que se plantea en Puerto Ayora.

La segunda medida propuesta es la ampliación de la red de espacios verdes. Debido al desarrollo urbanístico acaecido en las últimas décadas, el terreno permeable se ha perdido en favor de suelo asfaltado, incapaz de infiltrar la escorrentía. Por ello, los espacios verdes tratan de devolver esta capacidad al suelo. Con el fin de aplicar esta medida, se ha llevado a cabo un análisis de la localización y superficie de las parcelas no construidas y espacios libres repartidos por el área de estudio, a fin de seleccionar las más idóneas por área y proximidad al problema. Esta actuación pone de manifiesto la importancia de la integración de las medidas de adaptación en el planeamiento urbano, ya que permite establecer las condiciones de protección de los espacios libres cercanos a zonas de encharcamiento, evitando su impermeabilización.

Finalmente, se ha comprobado la reducción de riesgo tras simular la implantación de estas medidas en las tres zonas piloto. Ante la escasez de datos para un cálculo más exhaustivo, se han propuesto dos escenarios de eficacia de las medidas (optimista y pesimista) en base a datos recogidos de diferentes estudios. Siguiendo la metodología del IPCC y los indicadores propuestos anteriormente, se ha calculado un nuevo nivel de riesgo aproximado que es comparado con el inicial.

De esta manera, se ha podido comprobar que las medidas ofrecen resultados muy positivos en las tres zonas piloto, ya que bajo un escenario óptimo de funcionamiento se puede obtener una reducción del riesgo superior al 80% en todas ellas. Además, bajo un escenario pesimista, se ha calculado que la reducción oscilaría entre el 35% y el 55% del riesgo inicial. Si se trasladan estos resultados a escala de barrio se observan importantes variaciones de riesgo. *La Alborada* es el barrio más beneficiado por las medidas, donde se obtiene una reducción del 64% del riesgo en situación optimista, mientras que *Pampas Coloradas* y *Central*, presentan resultados similares y ligeramente inferiores, en torno al 55%. El escenario pesimista también presenta resultados positivos, puesto que las reducciones de riesgo son superiores al 25% para los tres barrios piloto.

A lo largo de este estudio ha quedado probada la validez del uso de indicadores para determinar los factores de riesgo de una manera sencilla. Además, se ha demostrado que las

medidas planteadas son eficientes, ya que, siguiendo el mismo método, se ha logrado una reducción del riesgo considerable en ambos escenarios.



## Abstract

The integration of adaptation measures in urban planning is an effective tool against climate change. This type of solutions represents progress in achieving the Sustainable Development Goals, especially with regard to goal 11, which seeks sustainability in cities, and goal 13, which aims to promote climate action. In this sense, measures developed in this project seek to reduce the potential impacts of climate change, incorporating sustainable policies, plans and programs in order to improve urban resilience. For progress in this field, the analysis of the risk situation due to the effects of climate change is proposed, as well as the definition of solutions in a specific case: the city of Puerto Ayora located in the island of Santa Cruz de Galápagos.

Puerto Ayora faces various challenges derived from climate change, among which the increase in flood events in the urban area stands out. Due to the orographic characteristics of the city, these episodes are located in different areas of flooding. Climate forecasts for the coming decades indicate that the hydrometeorological events that cause floods, such as El Niño, will be increased, both in frequency and intensity. For this reason, the need to study the risks derived from flooding on the human and material systems of the city arises in order to propose adaptation measures to this type of event.

Throughout this study, a methodology for risk calculation and its quantification has been developed based on the proposal of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), according to which, risk is dependent on hazard, exposure and vulnerability. The analysis is based on the use of several indicators that define these risk factors. Five of them, those related to hazard and exposure, have been expressly elaborated for this study based on the data available on the area:

- Hazard indicator by flooded area.
- Hazard indicator by flooding volume.
- Population exposure indicator.
- Facility exposure indicator.
- Main road exposure indicator.

The study focuses on a specific area of the city of Puerto Ayora, made up of 8 neighbourhoods in the centre and south of the city, in which up to 29 flood zones are quantified. By analysing the existing data on the study area, it has been possible to numerically determine the risk associated with flooding on each flood zone and on the neighbourhoods in which they are found.

Risk analysis has revealed that the most affected area is *Central* neighbourhood. Due to its location close to the coast, this neighbourhood is predominantly touristic and commercial, but it also hosts various services and administrative buildings. Neighbourhoods of *La Alborada* and *Pampas Coloradas* are also under high risk levels. These are residential neighbourhoods located in the western part of the study area.

Once the risk results are known, pilot neighbourhoods and areas for adaptation measures testing are established. In order to do this, the most affected neighbourhoods, mentioned above, as well as the flooding areas causing this condition, 27, 11 and 10, respectively, have been taken.

Proposed measures take into account the characteristics and limitations of the area and, in addition, they have tried to prioritize green and hybrid measures that make use of the advantages of ecosystems. Once the potential solutions were analysed, the final proposal was based on two types of measures: deep infiltration wells and implementation of new green spaces, which must be adequately integrated into urban planning. The viability of these actions has been proven by the study international cases of success and projects that support their effectiveness.

The use of deep infiltration wells allows taking advantage of the great infiltration capacity of the volcanic soil in order to capture and store the runoff water generated by floods and infiltrate it into the soil, recharging the basal aquifer. This approach arises as a response to the great constructive complexity of a conventional wastewater system as a consequence of the hardness of the terrain. This measure is positively valued by the Municipality as well, since it represents an alternative to the high financing costs of the drainage system that arose in Puerto Ayora.

The second measure proposed is the expansion of the network of green spaces. Due to the urban development that has taken place in recent decades, permeable terrain has been lost in favour of asphalt, unable to infiltrate runoff. Therefore, green spaces try to give this capacity back to the ground. To apply this measure, an analysis of the location and surface of the unbuilt plots and free spaces distributed throughout the study area has been carried out, in order to select the most suitable place by area and proximity to the problem. This action highlights the importance of integrating adaptation measures in urban planning, since it allows establishing the conditions of protection of free spaces near flooding areas, avoiding imperviousness.

Lastly, risk reduction has been verified by simulating the implementation of these measures in the three pilot areas. Given the lack of data for a more exhaustive calculation, two scenarios of effectiveness of the measures have been proposed (optimistic and pessimistic) based on data collected from different studies. Following the IPCC methodology and the indicators proposed above, a new approximate risk level has been calculated, which is compared to the initial one.

By doing so, it has been determined that the measures offer very positive results in the three pilot areas, since under an optimal operating scenario, a risk reduction of more than 80% can be obtained in all of them. Furthermore, under a pessimistic scenario, it has been calculated that the reduction would range between 35% and 55% of the initial risk. If these results are transferred to the neighbourhood scale, important variations in risk are observed. *La Alborada* is the neighbourhood that benefited the most from the measures, where a 64% reduction in risk is obtained in an optimistic situation, while *Pampas Coloradas* and *Central* show similar, but slightly lower results, around 55% of reduction. The pessimistic scenario also presents positive results, since risk reductions are greater than 25% for all three pilot neighbourhoods.

Throughout this study, the validity of the use of indicators to determine risk factors in a simple way has been shown. Furthermore, the proposed measures have proved to be efficient, since, following the same method, a considerable risk reduction has been achieved in both scenarios.

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores de Trabajo Fin de Máster, los profesores Cecilia Ribalaygua Batalla y Francisco José García Sánchez por su apoyo y gran ayuda en todas las etapas de este proyecto, así como por su empeño en que este proceso llegase a buen término. Asimismo, les agradezco haberme facilitado, en representación de la Fundación para la Investigación del Clima (FIC), las herramientas y recursos necesarios para llevar a cabo este estudio.

También quiero agradecer a Washington Ramos, Director de Ambiente del GAD de Santa Cruz, por su disposición a colaborar a través de sus valiosas aportaciones y por transmitirme su conocimiento de la realidad de Puerto Ayora.

Finalmente, mi gratitud a mi familia y amigos, y en especial, a mis padres, por su apoyo incondicional y su esfuerzo durante todos estos años.

## Índice

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Objetivo y alcance .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Cambio Climático: marco conceptual .....</b>	<b>16</b>
3.1	Problemática de cambio climático en las ciudades .....	16
3.2	Marco conceptual para la evaluación del riesgo.....	16
3.3	El Cambio Climático en Galápagos .....	18
<b>4</b>	<b>Santa Cruz de Galápagos: marco físico.....</b>	<b>20</b>
4.1	Localización .....	21
4.1.1	Descripción de la Isla de Santa Cruz .....	22
4.2	Climatología.....	23
4.2.1	Características generales.....	23
4.2.2	Proyecciones climáticas .....	27
4.3	Geología.....	29
4.3.1	Origen de las Islas Galápagos.....	29
4.3.2	Características del suelo de Santa Cruz .....	31
4.4	Sistema hídrico en la Isla de Santa Cruz .....	33
4.4.1	Hidrología superficial.....	33
4.4.2	Hidrología subterránea .....	34
4.4.3	Descripción del problema hídrico.....	35
4.5	Núcleo urbano de Puerto Ayora .....	36
4.5.1	Situación actual.....	36
4.5.2	Evolución histórica de Puerto Ayora .....	37
<b>5</b>	<b>Adaptación urbana frente al cambio climático: marco de referencia .....</b>	<b>40</b>
5.1	Normativa internacional en materia de cambio climático.....	40
5.2	Normativa estatal en materia de cambio climático.....	41
5.3	Normativa local en materia planeamiento .....	42
<b>6</b>	<b>Métodos y herramientas .....</b>	<b>44</b>
6.1	Metodología de evaluación del riesgo de encharcamiento .....	44
6.1.1	Evaluación de la amenaza de encharcamiento .....	45
6.1.2	Cálculo del índice de amenaza.....	47
6.1.3	Cálculo del índice de exposición .....	48
6.1.4	Metodología de análisis de vulnerabilidad.....	50
6.1.5	Índice de riesgo.....	52

6.2	Metodología para la evaluación de las medidas propuestas .....	53
<b>7</b>	<b>Análisis aplicado al caso de Puerto Ayora .....</b>	<b>54</b>
7.1	Base de datos previa .....	54
7.1.1	Caracterización de la amenaza de inundabilidad .....	54
7.1.2	Amenaza sobre los equipamientos .....	59
7.1.3	Amenaza sobre la población .....	65
7.1.4	Amenaza sobre la infraestructura vial .....	75
7.2	Cálculo del índice de amenaza por encharcamiento .....	78
7.2.1	Análisis de la amenaza de encharcamiento por barrios .....	79
7.2.2	Análisis de la amenaza por zonas de encharcamiento .....	82
7.3	Cálculo del índice de exposición a encharcamiento .....	87
7.3.1	Análisis de la exposición por barrios .....	87
7.3.2	Análisis de la exposición por zonas de encharcamiento .....	96
7.4	Cálculo del índice de vulnerabilidad a encharcamiento .....	103
7.4.1	Análisis de sensibilidad .....	103
7.4.2	Análisis de capacidad de adaptación .....	111
7.4.3	Resultados del índice de vulnerabilidad .....	111
7.5	Resultados del riesgo de encharcamiento .....	113
7.5.1	Nivel de riesgo por barrios .....	114
7.5.2	Nivel de riesgo por zonas de encharcamiento .....	115
7.5.3	Conclusiones del análisis de riesgo .....	117
<b>8</b>	<b>Medidas de adaptación .....</b>	<b>119</b>
8.1	Ámbito de aplicación .....	119
8.2	Propuesta de medidas de adaptación a encharcamiento .....	120
8.2.1	Medidas para la reducción del factor amenaza .....	121
8.2.2	Medidas para la reducción del factor exposición .....	123
8.2.3	Medidas para la reducción del factor vulnerabilidad .....	123
8.2.4	Síntesis de las medidas de adaptación propuestas .....	123
8.3	Descripción de las medidas de adaptación .....	124
8.3.1	Medidas tipo 1: Sistema de pozos profundos de infiltración .....	124
8.3.2	Medidas tipo 2: Consolidación de un sistema de espacios verdes .....	133
<b>9</b>	<b>Evaluación de la eficacia de las medidas .....</b>	<b>142</b>
9.1	Hipótesis de cálculo .....	142
9.1.1	Hipótesis combinada de cálculo .....	143
9.2	Cálculo del índice final de riesgo .....	143
9.2.1	Metodología de cálculo .....	143
9.2.2	Resultados del índice final de riesgos por zonas de encharcamiento .....	145

9.2.3	Resultados del índice final de riesgo por barrios .....	170
9.2.4	Valoración de los resultados de reducción de riesgos por las medidas .....	181
<b>10</b>	<b>Conclusiones finales .....</b>	<b>184</b>
<b>11</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>186</b>
<b>Anexo:</b>	<b>planos.....</b>	<b>191</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	11
Figura 2. Vista de Puerto Ayora .....	13
Figura 3. Componentes del riesgo.....	17
Figura 4. Viario de Puerto Ayora .....	20
Figura 5. Zona sur de Puerto Ayora.....	20
Figura 6. Situación de la Isla de Santa Cruz en el archipiélago de Galápagos.....	21
Figura 7. Isla de Santa Cruz.....	22
Figura 8. Datos de precipitación y temperatura diarios.....	24
Figura 9. Estaciones fría y cálida en Santa Cruz.....	26
Figura 10. Variación interanual de precipitación y temperatura .....	27
Figura 11. Formación de Galápagos .....	30
Figura 12. Distribución de diferentes tipos de suelo en Santa Cruz .....	31
Figura 13. Características del suelo de Galápagos .....	32
Figura 14. Modelo hidrológico conceptual de Santa Cruz .....	33
Figura 15. Ubicación de pozo profundo.....	34
Figura 16. Diagrama del acuífero salobre de Santa Cruz.....	35
Figura 17. Barrios de Puerto Ayora.....	37
Figura 18. Consolidación urbana de Puerto Ayora (1940-2015) .....	37
Figura 19. Núcleo urbano de Puerto Ayora en 1963.....	39
Figura 20. Núcleo urbano de Puerto Ayora en 1986.....	39
Figura 21. Núcleo urbano de Puerto Ayora en 2006.....	39
Figura 22. Núcleo urbano de Puerto Ayora en 2019.....	39
Figura 23. Mapa de usos del suelo en Puerto Ayora.....	43
Figura 24. Distribución de los barrios analizados en el área central de Puerto Ayora.....	46
Figura 25. Evaluación de amenaza por inundación.....	54
Figura 26. Amenaza por encharcamiento en Puerto Ayora .....	55
Figura 27. Zonas inundables Puerto Ayora.....	56
Figura 28. Localización de los equipamientos de Puerto Ayora.....	59
Figura 29. Distribución de los equipamientos bajo de amenaza de inundación .....	61
Figura 30. Distribución de alojamientos turísticos en el área de estudio .....	70
Figura 31. Vías más afectadas por encharcamiento y relación con zonas inundables.....	76
Figura 32. Nivel de amenaza de encharcamiento sobre los barrios .....	81
Figura 33. Nivel de amenaza de cada zona de encharcamiento individual .....	87
Figura 34. Indicador de exposición de población.....	89
Figura 35. Indicador de exposición de equipamientos .....	91
Figura 36. Indicador de exposición del viario principal .....	93
Figura 37. Nivel de exposición total de los barrios a encharcamiento .....	95
Figura 38. Nivel de exposición total de cada zona de encharcamiento individual .....	102
Figura 39. Nivel de vulnerabilidad total de las zonas de encharcamiento.....	113
Figura 40. Nivel de riesgo por barrios.....	114
Figura 41. Nivel de riesgo por zonas de encharcamiento .....	117
Figura 42. Barrios y zonas piloto para la aplicación de medidas de adaptación.....	120
Figura 43. Diagrama de pozo profundo de infiltración.....	125
Figura 44. Área de estudio Indonesia.....	127
Figura 45. Área de estudio Bogotá.....	128

Figura 46. Zona de aplicación de las medidas.....	129
Figura 47. Sistema de infiltración .....	129
Figura 48. Urbanización Can Cortada (Barcelona) .....	129
Figura 49. Ubicación de los pozos.....	130
Figura 50. Pozos de infiltración .....	130
Figura 51. Pozos de infiltración .....	131
Figura 52. Diagrama de ubicación de los pozos .....	131
Figura 53. Área de estudio Senegal .....	135
Figura 54. Ciudades de estudio UNEP.....	136
Figura 55. Espacios verdes en Lenexa, Kansas .....	137
Figura 56. Espacios verdes en Bon Pastor, Barcelona.....	138
Figura 57. Vista de The Circle .....	139
Figura 58. The Circle.....	139
Figura 59. Parcelas no construidas en la zona de estudio .....	140
Figura 60. Zonas de ampliación de la red de espacios verdes.....	146
Figura 61. Aproximación de superficies de encharcamiento y elementos expuestos tras la aplicación de medidas de adaptación sobre el área 10 bajo escenario optimista y pesimista .....	169
Figura 62. Aproximación de superficies de encharcamiento y elementos expuestos tras la aplicación de medidas de adaptación sobre el área 11 bajo escenario optimista y pesimista .....	169
Figura 63. Aproximación de superficies de encharcamiento y elementos expuestos tras la aplicación de medidas de adaptación sobre la zona 27 bajo escenario optimista y pesimista .....	170
Figura 64. Comparativa del nivel de riesgo entre las situaciones inicial y final bajo escenario optimista.....	175
Figura 65. Comparativa del nivel de riesgo entre las situaciones inicial y final bajo escenario pesimista .....	180



## Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de proyecciones climáticas en Santa Cruz .....	29
Tabla 2. Densidad por barrios del área central .....	46
Tabla 3. Factores de ponderación según nivel de amenaza .....	47
Tabla 4. Relación de indicadores utilizados para el cálculo de la sensibilidad .....	51
Tabla 5. Caracterización de las zonas de encharcamiento .....	56
Tabla 6. Porcentaje de superficie afectada por barrio para amenaza media y alta .....	58
Tabla 7. Porcentaje de superficie bajo amenaza de encharcamiento por barrio .....	58
Tabla 8. Uso suelo en zonas de encharcamiento .....	61
Tabla 9. Amenaza a equipamientos por zona inundable .....	63
Tabla 10. Amenaza a equipamientos por barrios .....	65
Tabla 11. Densidad de población (hab/ha) de los barrios estudiados .....	66
Tabla 12. Población residente afectada por zona de inundación .....	66
Tabla 13. Población total residente en cada barrio .....	68
Tabla 14. Número total de residentes afectados por barrio .....	69
Tabla 15. Número de plazas de alojamiento por barrio .....	71
Tabla 16. Población amenazada en alojamientos turísticos por zona de inundación .....	71
Tabla 17. Población amenazada en alojamientos turísticos por barrio .....	72
Tabla 18. Población total amenazada por zona de inundación .....	73
Tabla 19. Amenaza total a la población por barrio y nivel de amenaza .....	74
Tabla 20. Porcentaje de población afectada respecto al total .....	75
Tabla 21. Datos vías más afectadas .....	76
Tabla 22. Amenaza al viario principal por barrios .....	77
Tabla 23. Resultados del indicador de amenaza por área a nivel de barrio .....	79
Tabla 24. Resultados del indicador de amenaza por volumen a nivel de barrio .....	80
Tabla 25. Clasificación de cada barrio en función de su amenaza a inundaciones .....	81
Tabla 26. Resultados del indicador de amenaza por área a nivel de zona de encharcamiento .....	82
Tabla 27. Resultados del indicador de amenaza por volumen a nivel de zona de encharcamiento .....	83
Tabla 28. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Pampas Coloradas .....	84
Tabla 29. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Miraflores .....	85
Tabla 30. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de El Edén .....	85
Tabla 31. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Las Acacias .....	85
Tabla 32. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de La Alborada .....	85
Tabla 33. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Central .....	86
Tabla 34. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Las Ninfas .....	86
Tabla 35. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Pelican Bay .....	86

Tabla 36. Resultados del indicador de exposición de población a nivel de barrio.....	88
Tabla 37. Índice ponderado de equipamientos por barrio.....	90
Tabla 38. Resultados del indicador de exposición de equipamientos a nivel de barrio.....	90
Tabla 39. Porcentaje de viario principal expuesto a inundación por barrio.....	92
Tabla 40. Resultados del indicador de exposición del viario principal a nivel de barrio .....	93
Tabla 41. Clasificación de cada barrio en función de su exposición a inundaciones .....	94
Tabla 42. Resultados del indicador de población expuesta a nivel de zona de encharcamiento .....	96
Tabla 43. Factores de ponderación para indicador de exposición de equipamientos.....	97
Tabla 44. Resultados del indicador de exposición de equipamientos a nivel de zona de encharcamiento .....	98
Tabla 45. Resultados del indicador de exposición del viario principal afectado a nivel de zona de encharcamiento .....	99
Tabla 46. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Pampas Coloradas .....	100
Tabla 47. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Miraflores.....	100
Tabla 48. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de El Edén .....	101
Tabla 49. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Las Acacias.....	101
Tabla 50. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de La Alborada .....	101
Tabla 51. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Central.....	101
Tabla 52. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Las Ninfas.....	102
Tabla 53. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Pelican Bay .....	102
Tabla 54. Indicador sensibilidad por densidad de población.....	104
Tabla 55. Indicador sensibilidad por presencia de población anciana.....	104
Tabla 56. Indicador sensibilidad por presencia de niños menores de 5 años.....	105
Tabla 57. Indicador sensibilidad por presencia de población discapacitada .....	105
Tabla 58. Indicador sensibilidad por población analfabeta.....	106
Tabla 59. Indicador sensibilidad por población sin afiliación al sistema sanitario .....	106
Tabla 60. Indicador sensibilidad por falta de acceso a red pública de agua .....	107
Tabla 61. Indicador sensibilidad por viviendas con déficit constructivo.....	107
Tabla 62. Indicador sensibilidad por hogares hacinados.....	108
Tabla 63. Indicador sensibilidad por dependencia del turismo.....	109
Tabla 64. Indicador sensibilidad por población desempleada .....	109
Tabla 65. Sumatorio de resultados de indicadores de sensibilidad por barrio .....	110
Tabla 66. Clasificación de cada barrio en función de su sensibilidad .....	111
Tabla 67. Clasificación de cada barrio en función de su vulnerabilidad .....	112
Tabla 68. Índice de vulnerabilidad por zonas de encharcamiento.....	112
Tabla 69. Resultados y clasificación del riesgo por barrios .....	114
Tabla 70. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Pampas Coloradas .....	115
Tabla 71. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Miraflores.....	115

Tabla 72. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de El Edén.....	115
Tabla 73. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Las Acacias.....	116
Tabla 74. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de La Alborada .....	116
Tabla 75. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Central .....	116
Tabla 76. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Las Ninfas.....	116
Tabla 77. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Pelican Bay .....	117
Tabla 78. Medidas de adaptación propuestas para Puerto Ayora.....	124
Tabla 79. Dimensiones orientativas de los pozos profundos .....	132
Tabla 80. Porcentaje de captación de escorrentía en zonas verdes para distintos tipos de episodios de precipitación .....	134
Tabla 81. Número de parcelas no construidas por zona de inundación.....	141
Tabla 82. Hipótesis de cálculo para pozos profundos de infiltración .....	142
Tabla 83. Hipótesis de cálculo para pozos profundos de infiltración .....	142
Tabla 84. Combinación de hipótesis de cálculo.....	143
Tabla 85. Volumen de encharcamiento zona 10 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario optimista).....	147
Tabla 86. Volumen de encharcamiento zona 11 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario optimista).....	147
Tabla 87. Volumen de encharcamiento zona 27 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario optimista).....	148
Tabla 88. Resultados del indicador de amenaza por volumen de encharcamiento después de las medidas (escenario optimista).....	148
Tabla 89. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 10 (escenario optimista).....	149
Tabla 90. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 11 (escenario optimista).....	149
Tabla 91. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 27 (escenario optimista).....	150
Tabla 92. Resultados del indicador de amenaza por área encharcada después de las medidas (escenario optimista) .....	150
Tabla 93. Resultados del índice de amenaza después de las medidas (escenario optimista) .....	151
Tabla 94. Población residente expuesta (escenario optimista).....	152
Tabla 95. Población alojada en hoteles (escenario optimista).....	152
Tabla 96. Resultados del indicador de exposición por población después de las medidas sobre la zona 10 (escenario optimista) .....	153
Tabla 97. Ponderación de equipamientos expuestos (escenario optimista) .....	154
Tabla 98. Resultados del indicador de exposición de equipamientos después de las medidas (escenario optimista) .....	154
Tabla 99. Resultados del indicador de exposición del viario principal después de las medidas (escenario optimista) .....	155
Tabla 100. Resultados del índice de exposición después de las medidas (escenario optimista).....	156

Tabla 101. Índice de riesgo tras la aplicación de las medidas de adaptación sobre la zona 10 (escenario optimista).....	157
Tabla 102. Volumen de encharcamiento zona 10 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario pesimista).....	158
Tabla 103. Volumen de encharcamiento zona 11 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario pesimista).....	158
Tabla 104. Volumen de encharcamiento zona 27 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario pesimista).....	159
Tabla 105. Resultados del indicador de amenaza por volumen de encharcamiento después de las medidas (escenario pesimista) .....	159
Tabla 106. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 10 (escenario pesimista).....	160
Tabla 107. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 11 (escenario pesimista).....	160
Tabla 108. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 27 (escenario pesimista).....	160
Tabla 109. Resultados del indicador de amenaza por área encharcada después de las medidas (escenario pesimista).....	161
Tabla 110. Resultados del índice de amenaza después de las medidas (escenario pesimista) .....	162
Tabla 111. Población residente expuesta (escenario pesimista).....	163
Tabla 112. Población alojada en hoteles (escenario pesimista).....	163
Tabla 113. Resultados del indicador de exposición por población después de las medidas (escenario pesimista).....	163
Tabla 114. Ponderación de equipamientos expuestos (escenario pesimista) .....	164
Tabla 115. Resultados del indicador de exposición de equipamientos después de las medidas (escenario pesimista).....	165
Tabla 116. Resultados del indicador de exposición del viario principal después de las medidas (escenario pesimista).....	166
Tabla 117. Resultados del índice de exposición después de las medidas (escenario pesimista).....	167
Tabla 118. Índice de riesgo tras la aplicación de las medidas de adaptación (escenario pesimista).....	168
Tabla 119. Resultados de indicador de amenaza por área encharcada después de las medidas, análisis barrial (escenario optimista).....	171
Tabla 120. Resultados de indicador de amenaza por volumen de encharcamiento después de las medidas, análisis barrial (escenario optimista).....	171
Tabla 121. Resultados de índice de amenaza por barrios tras aplicar las medidas (escenario optimista).....	171
Tabla 122. Índice de exposición de población por barrios (escenario optimista).....	172
Tabla 123. Ponderación de equipamientos expuestos por barrios (escenario optimista). .....	172
Tabla 124. Índice de exposición de equipamientos por barrios (escenario optimista).....	173
Tabla 125. Ponderación de viario principal expuesto por barrios (escenario optimista).173	
Tabla 126. Índice de exposición de viario principal por barrios (escenario optimista). ...	174
Tabla 127. Índice de exposición por barrios (escenario optimista).....	174
Tabla 128. Índice de riesgo por barrios tras la aplicación de medidas de adaptación (escenario optimista).....	175
Tabla 129. Resultados de indicador de amenaza por área encharcada después de las medidas, análisis barrial (escenario pesimista).....	176

Tabla 130. Resultados de indicador de amenaza por volumen de encharcamiento después de las medidas, análisis barrial (escenario pesimista).....	176
Tabla 131. Resultados de índice de amenaza por barrios tras aplicar las medidas (escenario pesimista).....	177
Tabla 132. Índice de exposición de población por barrios (escenario pesimista). ....	177
Tabla 133. Ponderación de equipamientos expuestos por barrios (escenario pesimista). ....	178
Tabla 134. Índice de exposición de equipamientos por barrios (escenario pesimista).....	178
Tabla 135. Ponderación de viario principal expuesto por barrios (escenario pesimista).178	
Tabla 136. Índice de exposición de viario principal por barrios (escenario pesimista). ....	179
Tabla 137. Índice de exposición por barrios (escenario pesimista).....	179
Tabla 138. Índice de riesgo por barrios tras la aplicación de medidas de adaptación (escenario pesimista).....	180
Tabla 139. Reducción de índices de indicadores y riesgo para todas las zonas y escenarios .....	181
Tabla 140. Reducción del riesgo para los todos barrios piloto y escenarios .....	182

## 1 Introducción

La variabilidad del clima en el planeta se acelera a un ritmo sin precedentes. El grado extremo de los eventos, así como su frecuencia son cada vez mayores, como lo son también sus consecuencias en forma de daños de distinta índole (Cardona et al., 2012). Ante esta situación, buena parte de los esfuerzos de los organismos públicos locales, nacionales e internacionales se centra en la mitigación de las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero, con el fin de reducir el cambio del clima. Pero es un hecho reconocido que un grado de cambio del clima se va a producir irremediabilmente, por lo que surge la necesidad paralela de diseñar estrategias de adaptación a esta nueva situación, con el fin de minimizar los desastres y, en la medida en que sea posible, sacar partido de la nueva situación.

Las consecuencias del cambio climático repercuten sobre la población y, de forma más grave, sobre los habitantes más vulnerables que sufren sus efectos en multitud de ámbitos, como la peor calidad del aire; mayores demandas de agua, con la consiguiente escasez y baja calidad; contaminación de suministros de aguas; reducción de la calidad de vida de personas vulnerables; o graves consecuencias en la economía y la educación de la población derivadas de inundaciones, entre otras. Todas estas consecuencias implican graves alteraciones en la vida de las personas, acentuando las desigualdades y siendo el motivo incluso de fenómenos migratorios. En este contexto, la lucha contra el cambio climático se convierte en una de las prioridades de la Agenda 2030 de Naciones Unidas (Sturiale y Scuderi, 2019). Este documento (Naciones Unidas, 2019), constituye una estrategia global para favorecer el desarrollo urbano sostenible y propone 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible que deben tomarse como criterios de actuación.



Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible  
Fuente: Naciones Unidas (2015)



En este marco, y con la pretensión de contribuir a la consecución de estos objetivos en lo relacionado con las ciudades y el cambio climático, se orienta este trabajo.

Por un lado, el **Objetivo 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles**, se centra en el espacio físico de ciudad, persiguiendo que las ciudades sean inclusivas, seguras y sostenibles (Sturiale y Scuderi, 2019). En su **Meta 11.3**, promueve la **urbanización inclusiva y sostenible**, y en la **Meta 11.5**, pretende **reducir el número de muertes causadas por desastres**, incluidos los relacionados con el agua, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por desastres.

Por otro lado, el **Objetivo 13: Acción por el Clima**, concreta un marco de criterios a tener en cuenta para alcanzar la resiliencia. Entre sus metas destacan la **13.1**, que busca **fortalecer la resiliencia y capacidad de adaptación los riesgos relacionados con el clima** y los desastres naturales; y más específicamente aún y en línea con los objetivos de este trabajo, la **Meta 13.2**, que promueve la **incorporación de medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales** (Naciones Unidas, 2019).

Las ciudades son grandes perjudicadas del cambio climático (con fenómenos locales extremos y recurrentes como fuertes precipitaciones, la subida del nivel del mar, olas de calor o sequías), pero también son los principales actores responsables de las soluciones de adaptación. Estas soluciones locales requieren, no sólo de una identificación previa de la amenaza, sino también de una mejor preparación de población y territorio para afrontar los previsibles eventos. Esto implica que, para minimizar el riesgo, las medidas de adaptación pueden desarrollarse mediante la reducción de tres factores posibles:

- la **amenaza** que causa el impacto
- la **exposición** de la población y los bienes a dicha amenaza
- la **vulnerabilidad** de los sistemas humanos y materiales implicados (Cardona et al., 2012).

Estas tres variables son claves para la mejora de la resiliencia de las ciudades al cambio climático. Para afrontar el reto de este trabajo de identificar y validar herramientas de adaptación adecuadas se ha elegido un caso de estudio: la ciudad de Puerto Ayora, en la Isla de Santa Cruz (Galápagos, Ecuador), cuyos efectos ocasionados por el cambio climático están siendo objeto de análisis por parte de varios organismos internacionales.

La Isla de Santa Cruz está ubicada en el área central del Archipiélago de Galápagos, en el Pacífico Tropical Oriental. Estas islas son un enclave único y destacan por su gran biodiversidad, reconocida tanto nacional, como internacionalmente. Entre otros, las Galápagos están clasificadas como Reserva de la Biosfera por la UNESCO, Patrimonio Natural de la Humanidad o sitio RAMSAR. Por ello, más del 95% de su superficie está protegida.

Santa Cruz tiene una población aproximada de 15701 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2015), de los que tres cuartas partes residen en Puerto Ayora. A lo largo de las últimas décadas, la población ha ido aumentando notablemente, procedente del continente, vinculada al desarrollo socioeconómico local, fuertemente basado en el sector turístico. Además, Santa Cruz, al estar ubicada en el centro del archipiélago, es un punto de conexión territorial con las demás islas pobladas, lo que incrementa aún más su potencial turístico.

Tras el desarrollo urbano de Puerto Ayora y la consiguiente impermeabilización del suelo, se han sucedido episodios de inundación en el entorno urbano (encharcamientos) con cierta frecuencia. Este tipo de inundación está causado por la falta de un sistema de evacuación de agua eficiente en la ciudad. Cuando el agua de lluvia discurre por el área urbana en forma de escorrentía, no encuentra grietas por las que infiltrarse al suelo, de manera que queda acumulada sobre los viales asfaltados (FIC, 2019). Las previsiones indican que en los próximos años los eventos de lluvias extremas serán más frecuentes e intensos, por lo que es probable que la situación se agrave. Por ello, es necesaria la actuación en estos lugares, ya que una inundación podría acarrear, entre otros, grandes consecuencias económicas y sociales, además de grandes afecciones a infraestructuras y vías de paso, daños que se agravarían notablemente con el paso del tiempo si no se toman las medidas adecuadas.



*Figura 2. Vista de Puerto Ayora*

*Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz (GADMSC, 2020).*

Para ello, se hace necesario abordar el análisis de estas zonas de encharcamiento, concentrando la evaluación en las áreas más céntricas de la ciudad, donde la presencia de población y equipamientos básicos es mayor. Conociendo los niveles de amenaza, exposición y vulnerabilidad de cada zona, será posible evaluar el riesgo y proponer medidas de adaptación a los encharcamientos, tales como la captación de escorrentía y construcción de un sistema drenaje que permita evacuar las aguas pluviales de forma eficiente.

Avanzando en el estudio de estos aspectos, el proyecto se inscribe en el marco de objetivos de la citada Agenda 2030 (concretamente en los ODS 11 y 13 citados), pero también se alinea con la metodología e indicaciones emitidas por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), teniendo así mismo en consideración los criterios manejados por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) en cuanto al reconocimiento de riesgos y la implantación de estudios y programas sobre las amenazas naturales y su mitigación en la región.



## 2 Objetivo y alcance

El estudio tiene como objetivo general la mejora de la resiliencia al cambio climático a través de soluciones mixtas de planeamiento urbanístico. El avance de este trabajo se identifica como una contribución a la Agencia Urbana 2030 y, concretamente, los objetivos 11 y 13 previamente descritos. En coherencia con ello, el trabajo se plantea dos objetivos generales:

1. Desarrollar una metodología de identificación de soluciones y comprobación del grado de eficacia de las mismas a través de un sistema de indicadores.
2. Aportar soluciones concretas de adaptación que permitan cumplir los ODS 11 y 13 en la Isla de Santa Cruz de Galápagos.

De forma más detallada, para la identificación de soluciones de adaptación, se plantean tres objetivos necesarios:

- 2.1. **Cuantificar y caracterizar el riesgo de inundación** por encharcamiento en un sector del área urbana de Puerto Ayora.
- 2.2. **Proponer posibles medidas de adaptación** que permitan reducir este riesgo.
- 2.3. **Evaluar la eficacia de la potencial aplicación de las medidas** a través de la simulación de escenarios modificados por dichas medidas.

La evaluación del riesgo seguirá la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), que propone la dependencia del riesgo de los factores de amenaza, exposición y vulnerabilidad. Según este criterio, el término amenaza hace referencia a la ocurrencia de episodios de encharcamiento que provocan efectos adversos sobre los activos presentes, exposición es el conjunto de elementos del área de estudio sobre los que puede existir una amenaza, y vulnerabilidad es la propensión de los elementos expuestos a sufrir los efectos adversos de las inundaciones.

En el caso de Puerto Ayora, las previsiones climatológicas indican que, en los próximos años, los fenómenos causantes de las precipitaciones extremas, como El Niño, serán más frecuentes e intensos en el Archipiélago de Galápagos. Es por ello, que se debe conocer cuáles son las zonas de la ciudad que se verán más afectadas por las inundaciones, para así poder implantar medidas de adaptación, dado que actualmente la localidad aún no cuenta con infraestructura adecuada contra este evento.

Respecto al alcance del trabajo, el punto de partida del análisis será la localización, dimensiones y nivel de amenaza (medio o alto) de zonas de encharcamiento repartidas por los barrios más amenazados de la zona sur de la ciudad. A partir de estos datos, se determinarán los factores del riesgo mediante el uso de indicadores, desarrollados en función de las características del área de estudio y los datos disponibles, tales como el área y volumen de encharcamiento, la presencia de población y equipamientos, o la afección al viario de la ciudad. La cuantificación de estos indicadores y su combinación dará como resultado el índice de riesgo existente en el área de estudio, tanto sobre las zonas de encharcamiento, como sobre los barrios.

La disgregación de los resultados por barrios y zonas de inundación, permite determinar dónde se encuentran los resultados más negativos y plantear áreas de actuación concretas,

a modo de barrios y zonas “piloto”, sobre las que aplicar y evaluar las medidas de adaptación.

Una vez conocido el nivel de riesgo, en la siguiente fase del estudio se abordarán las alternativas de adaptación que se pueden aplicar en Puerto Ayora. Para ello, se tendrán en cuenta las limitaciones y características de la ciudad, que permitan priorizar unas medidas sobre otras. Una vez hecha la propuesta, se explicarán en detalle aquellas medidas que mejor se adapten a las peculiaridades de esta localidad.

Se priorizará la aplicación de las llamadas soluciones verdes, concebidas desde el punto de vista urbanístico y basadas en la planificación. Sin embargo, en caso de que su aplicación sea muy compleja o no sea posible, se analizarán soluciones basadas en actuaciones de Ingeniería Civil, las llamadas soluciones grises. Asimismo, se tratarán de aprovechar las posibilidades que ofrece el suelo volcánico de la isla, ya que la gran capacidad de infiltración del suelo, unido a la existencia de un manto freático<sup>1</sup> hueco, permitirían desarrollar medidas basadas en la infiltración del agua de inundación hacia las capas inferiores del suelo.

La validez de este estudio quedará demostrada en la medida en que la magnitud del riesgo sobre las zonas piloto tras la aplicación de las medidas disminuya respecto a la situación inicial. Para ello, se comparará el escenario actual con diferentes escenarios hipotéticos de eficacia de las medidas propuestas. La cuantificación de las mejoras se realizará mediante la comparación de los índices de riesgo actuales, con índices de riesgo que se elaborarán tras la aplicación de las medidas. Por tanto, la verificación de una metodología útil para comprobar la eficacia de las medidas detectadas en la disminución del riesgo supondrá también la consecución del primer objetivo propuesto.

---

<sup>1</sup> En Ecuador se suele utilizar el concepto de *manto freático*, equivalente al término *acuífero subterráneo*, comúnmente utilizado en España.

## 3 Cambio Climático: marco conceptual

### 3.1 Problemática de cambio climático en las ciudades

Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), este fenómeno se define como una variación en el estado del clima que persiste durante un periodo prolongado, típicamente de décadas o superior (FIC, 2019). Actualmente, el clima está cambiando a un ritmo sin precedentes a nivel mundial, estimándose que la ocurrencia de desastres se ha incrementado progresivamente desde hace más de cinco décadas (Cardona et al., 2012).

Los núcleos urbanos, incluyendo la población y demás sistemas de los integran, sufren las consecuencias del cambio climático de una forma cada vez más frecuente. Fenómenos, tales como el aumento del número de días y noches cálidas, olas de calor, sequías, episodios de fuerte precipitación, tormentas o la subida del nivel del mar, están provocando graves consecuencias sobre las ciudades (Barton, 2009).

Estos efectos repercuten sobre la ciudad de diversas maneras, provocando peor calidad del aire; mayores demandas de agua, con la consiguiente escasez y baja calidad; contaminación de suministros de aguas; reducción de la calidad de vida de personas vulnerables; además de afecciones al comercio, transporte y población derivadas de inundaciones. Además, se ha observado una tendencia al alza de la migración hacia las ciudades consecuencia de los problemas que el cambio climático está ocasionando sobre la zona rural (Barton, 2009).

A pesar de que las ciudades sufrirán estos efectos inevitablemente, se deben tomar medidas a nivel de planificación urbanística mediante estrategias para conseguir una adaptación satisfactoria a los impactos existentes (Barton, 2009).

La adaptación al cambio climático tendrá el objetivo de reducir los riesgos de desastre mediante la reducción de la amenaza que causa el impacto, la exposición a dicha amenaza y la vulnerabilidad de los sistemas humanos y materiales implicados (Cardona et al., 2012). Por ello, la determinación del riesgo existente en las zonas urbanas es un aspecto clave para el desarrollo de estrategias de adaptación.

### 3.2 Marco conceptual para la evaluación del riesgo

Con el objetivo de crear un plan de adaptación al cambio climático en las ciudades, se hace necesaria la distinción entre los conceptos de amenaza, exposición y vulnerabilidad y su vinculación con el concepto de riesgo.

Según Cardona et al. (2012), amenaza se refiere a la ocurrencia posible y futura de eventos físicos o inducidos por el ser humano, que provocan efectos adversos sobre los elementos expuestos y vulnerables. Aunque de forma general se le atribuye el mismo significado que a riesgo, se considera un componente, y no un riesgo en sí mismo. En este caso, la amenaza se relaciona con la probabilidad de encharcamiento presente en cada punto de la ciudad.

Por otro lado, la exposición se refiere al conjunto de elementos en un área sobre los que pueda existir una amenaza (Cardona et al., 2012). Por lo tanto, si en un área amenazada

existe población y recursos económicos, habrá un riesgo potencial. No obstante, la exposición es necesaria pero no suficiente para determinar la existencia de un riesgo, ya que es posible que cierto elemento esté expuesto a una amenaza, pero que no sea vulnerable, en cuyo caso no existiría riesgo (Cardona et al., 2012).

Sin embargo, para que un sistema sea vulnerable, necesita estar expuesto. El concepto de vulnerabilidad se refiere a la propensión de los elementos expuestos a sufrir efectos adversos tras la ocurrencia del evento que constituye su amenaza (Cardona et al., 2012). Se vincula con la predisposición, susceptibilidad, debilidades y deficiencias que favorecen los efectos negativos sobre los elementos expuestos.

La vulnerabilidad presenta dos componentes principales que es necesario evaluar: sensibilidad y capacidad adaptativa. Según Cardona et al. (2012), la sensibilidad es la predisposición física de seres humanos, infraestructura y entorno de verse afectados por amenazas. Se debe a la falta de resistencia y a la predisposición de la sociedad y los ecosistemas de sufrir un daño como consecuencia de sus propias condiciones intrínsecas.

La capacidad adaptativa pone de manifiesto las limitaciones en cuanto al acceso y movilización de recursos por parte de habitantes e instituciones, así como la incapacidad de anticipar, adaptar y responder frente a los impactos sociales, ecológicos y económicos de las amenazas.

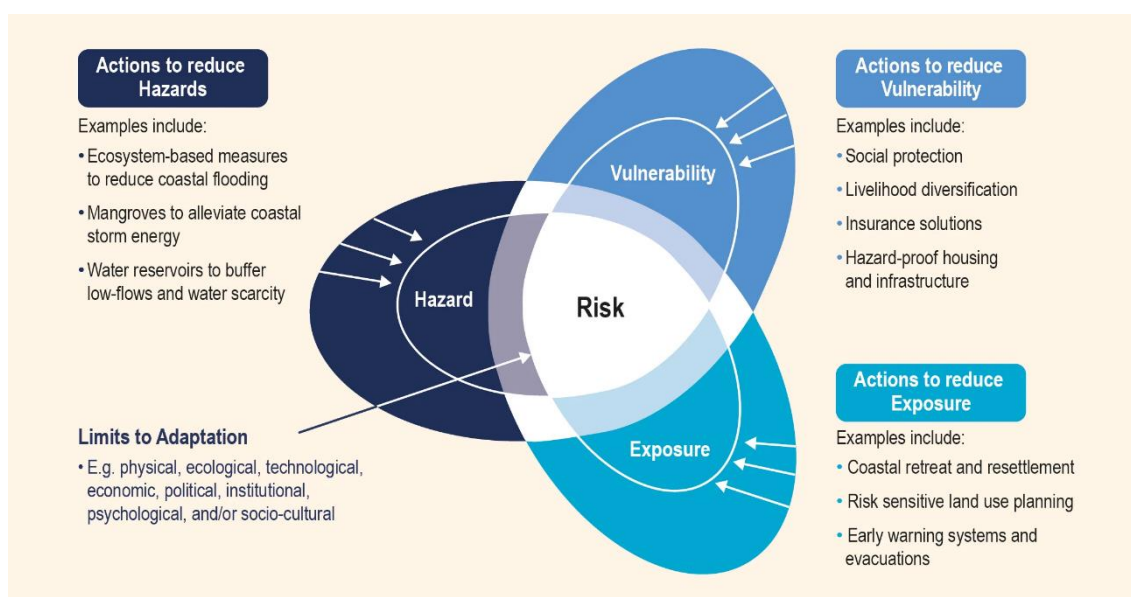


Figura 3. Componentes del riesgo  
Fuente: IPCC (2019).

Por tanto, el riesgo que presente cada elemento situado en una zona amenazada dependerá de la interacción de tres factores: amenaza, exposición y vulnerabilidad, este último dependiente de la sensibilidad y la capacidad adaptativa del sistema de estudio. A partir de esta evaluación del riesgo se podrán establecer criterios de actuación y determinar dónde es más necesaria la intervención y de qué manera de debe llevar a cabo.

### 3.3 El Cambio Climático en Galápagos

Las Islas Galápagos constituyen un laboratorio ideal donde estudiar los efectos del cambio climático, ya que permiten aislar la problemática. En este sentido, Galápagos ofrece la oportunidad de estudiar una de las amenazas principales a las que se ve sometida la ciudad de Puerto Ayora, como es el encharcamiento urbano. Este tipo de inundación se debe a la acumulación de escorrentía en puntos de ciudad donde el suelo impermeable impide la infiltración del agua de lluvia a las capas inferiores del suelo.

La precipitación extrema que provoca estos encharcamientos tiene su origen en la variación de los patrones climáticos en el Archipiélago de Galápagos por efecto del cambio climático. De forma general, el clima varía entre la temporada fría, entre junio y diciembre, y la temporada cálida, entre enero y mayo. Durante esta última es cuando se registra la mayor parte de la lluvia, mientras que, en la estación fría, la precipitación es menor y ocurre en forma de neblina, denominada localmente *garúa* (Trueman y d'Ozouville, 2010).

No obstante, cada cierto número de años se produce en las islas el fenómeno de El Niño (Pryet, 2011), provocando aumento de temperaturas y precipitaciones, cambios en las corrientes marinas y, por consiguiente, afectado a la vida silvestre de las islas, que no es capaz a hacer frente a tales cambios (WWF y CI, 2011). Se espera que los efectos globales del cambio climático se asemejen, en gran medida, los efectos causados por el fenómeno de El Niño, con la diferencia de que este evento es de corta duración, mientras que el cambio climático tiene carácter permanente (WWF y CI, 2011). De esta manera, el fenómeno El Niño, se puede tomar como reflejo de lo que podría suponer el cambio climático para Galápagos.

Se estima que a lo largo de este siglo las temperaturas ambientales promedio sean más elevadas. Según Panel Intergubernamental del Cambio Climático, las temperaturas globales se incrementarán entre 1,8 y 4°C para finales del siglo XXI, lo que supondría para las islas al menos un aumento de 2 grados. Por otro lado, se estima que las temperaturas de la superficie marina también aumentarán notablemente, debido a que el océano está absorbiendo el exceso de calor de la atmósfera. Se prevé que las aguas que rodean al archipiélago se calienten, provocando cambios en las corrientes oceánicas.

Asimismo, la intensidad y frecuencia de las precipitaciones será considerablemente mayor, provocado por el aumento de las temperaturas ambientales. El resultado será que la cantidad de anual de lluvia precipitada a finales del siglo XXI será similar a la precipitación actual de aquellos años en los que ocurren eventos de El Niño (WWF y CI, 2011). También se prevé un aumento del nivel del mar de hasta un metro, y la acidificación de los océanos, dado que el mar está absorbiendo buena parte del dióxido de carbono que los seres humanos expulsamos a la atmósfera. Este proceso provocará impacto sobre los arrecifes de coral y causará la pérdida de biodiversidad en Galápagos (WWF y CI, 2011).

El cambio climático también afectará a la población de las islas. El número de habitantes está creciendo, y la mayoría dependen de la biodiversidad como medio de vida. Esto es debido a que el turismo, que representa más del 75% de su economía y emplea al 40% de los habitantes, está estrechamente ligado con la naturaleza (WWF y CI, 2011).

El incremento de las lluvias consecuencia del cambio climático, lleva asociado un aumento de los episodios de encharcamiento. Este tipo de inundación presenta incidencia en los sectores urbanos consolidados que, en el caso del Cantón de Santa Cruz, solo hace referencia a la ciudad de Puerto Ayora, única parroquia urbana de la isla (FIC, 2019).

El impacto de los encharcamientos se relaciona con la falta de alcantarillado pluvial efectivo. El sistema de drenaje actual de Puerto Ayora se basa en pozos de infiltración en los que se excava para encontrar grietas a las que evacuar el agua escorrentía (FIC, 2019). No obstante, en los puntos más bajos de la ciudad, el sistema de pozos no es capaz de infiltrar el agua de lluvia de manera que queda acumulada sobre los viales asfaltados, hasta que finalmente alcanza las grietas.

Las consecuencias de estos encharcamientos afectan gravemente a sistemas humanos y económicos, ya que, viviendas, equipamientos, infraestructuras y movilidad vial pueden verse gravemente dañados. Asimismo, la posible afección a zonas turísticas, ponen en peligro la integridad del sector económico principal de la isla.

Por ello, son necesarias estrategias de adaptación inmediatas, que aseguren que especies y ecosistemas puedan sobrevivir, y que además los bienes y servicios que abastecen a la población puedan seguir operando con normalidad. Algunas de las medidas a tomar podrían abordar la construcción de un sistema convencional de drenaje y alcantarillado o de un sistema de recolección de la escorrentía en la parte más baja de Puerto Ayora (FIC, 2019), siempre teniendo en cuenta las limitaciones logísticas y económicas a las que se enfrentan las islas.

No obstante, previo a la discusión sobre las medidas a implantar para paliar los efectos de los encharcamientos, habrá que tener en cuenta los aspectos ya mencionados de amenaza, exposición y vulnerabilidad, que ayudarán a determinar la magnitud del riesgo que pesa sobre los sistemas humanos y económicos, y sobre las infraestructuras de la zona afectada. De esta manera será posible priorizar y clasificar el riesgo según su relevancia y proponer medidas, acorde con las necesidades específicas de cada zona.



## 4 Santa Cruz de Galápagos: marco físico

La isla de Santa Cruz tiene una población aproximada de 15701 habitantes (INEC, 2015), de los que tres cuartas partes residen en Puerto Ayora. A lo largo de las últimas décadas, la población ha ido aumentando notablemente, procedente del continente. Esta inmigración a las islas se vincula con el desarrollo socioeconómico derivado del aumento de la afluencia turística tras la declaración de Galápagos como Patrimonio Natural de la Humanidad. Además, Santa Cruz, al estar ubicada en el centro del archipiélago, es un punto de conexión territorial con las demás islas pobladas, lo que incrementa aún más su potencial turístico. La mayor parte de la superficie de la isla se encuentra protegida por el Parque Nacional Galápagos, encargado del ecosistema terrestre, y la Reserva Marina de Galápagos, que se ocupa del entorno marino. Aproximadamente el 88,2% del territorio de Santa Cruz está protegido, estando el resto clasificado como suelo urbano consolidado o rural para uso agropecuario.

Desde el punto de vista administrativo, Santa Cruz, junto con otras islas e islotes cercanos, conforma el Cantón de Santa Cruz, perteneciente a la provincia de Galápagos. Así mismo, la isla se divide en tres parroquias: Puerto Ayora, capital cantonal y única parroquia urbana; Bellavista y Santa Rosa, parroquias rurales ubicadas en el interior de la isla.

La ciudad de Puerto Ayora presenta un área de suelo consolidado de 193,3 hectáreas y se divide en 18 barrios. No obstante, presenta una superficie urbana no consolidada muy extensa. A lo largo de los años, la importancia creciente del turismo como principal sector económico de la isla, ha hecho que actualmente primen los usos comercial y turístico en el sector costero, mientras que la zona interior es fundamentalmente residencial.



*Figura 4. Viario de Puerto Ayora*

*Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz.*



*Figura 5. Zona sur de Puerto Ayora*

*Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz.*

Se analiza a continuación los principales aspectos que definen el ámbito de trabajo: su localización (4.1), clima (4.2), geología (4.3), sistema hídrico (4.4.) y morfología del núcleo urbano (4.5).

## 4.1 Localización

El archipiélago de Galápagos es un conjunto de islas e islotes situados en el Océano Pacífico Tropical Oriental, aproximadamente a 1000 kilómetros al oeste de la costa continental de Ecuador, siendo una de las veinticuatro provincias en las que se divide el país. Está formado por 19 islas mayores y más de 200 islotes y rocas. La superficie total del conjunto es de 8010 km<sup>2</sup>, dispersos en una superficie de 70000 km<sup>2</sup> sobre el Océano Pacífico (Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos [CGREG], 2016).

Las Islas Galápagos constituyen un enclave único por su biodiversidad y condiciones climáticas, lo que ha sido reconocido tanto nacional, como internacionalmente mediante figuras de protección. Han sido declaradas Reserva de la Biosfera por la UNESCO, Patrimonio Natural de la Humanidad, Santuario de Ballenas, Parque Nacional y Sitio RAMSAR. Por ello, un factor importante a tener en cuenta es que el 96,7% de la superficie terrestre total está protegida, reduciendo la zona poblada al 3,3% restante, la cual está repartida entre zonas urbanas y rurales (FIC, 2019).

Según el Plan Galápagos (CGREG, 2016), desde el punto de vista político-administrativo, la provincia se divide en tres cantones con tres parroquias urbanas y cinco parroquias rurales. Así, el Cantón de Santa Cruz cuenta con la parroquia urbana de Puerto Ayora y las parroquias rurales de Bellavista y Santa Rosa; Isla Isabela, cuenta con la parroquia urbana de Puerto Villamil y la parroquia rural de Tomás de Berlanga; y, por último, la isla de San Cristóbal se divide en la parroquia urbana de Puerto Baquerizo Moreno, y las parroquias rurales de El Progreso y Santa María (situada en Isla Floreana). Además, Puerto Baquerizo Moreno, constituye la capital de la provincia de Galápagos.



*Figura 6. Situación de la Isla de Santa Cruz en el archipiélago de Galápagos*  
Fuente: FIC (2019).



#### 4.1.1 Descripción de la Isla de Santa Cruz

La Isla de Santa Cruz está ubicada en la zona central del archipiélago de Galápagos y da nombre a uno de los tres cantones de la provincia. Tiene una extensión de 986 km<sup>2</sup> y una altitud máxima de 865 msnm (CGREG, 2016). Al igual que ocurre con el resto de territorios que conforman el archipiélago, la mayor parte de la superficie de Santa Cruz se encuentra protegida bajo la figura del Parque Nacional Galápagos, encargándose del ecosistema terrestre, y bajo la Reserva Marina Galápagos, en el entorno marino. Según el Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir (Dirección del Parque Nacional Galápagos [PNG], 2014), estas áreas se extienden por el 88,2% de la superficie y se encuentran en un excelente nivel de conservación. La superficie restante se divide en suelo urbano consolidado (192,3 ha) y área rural para uso agropecuario (11176,5 ha).



Figura 7. Isla de Santa Cruz  
Fuente: FIC (2019).

La población total de la isla es de 15393 personas, de los que el 77,8% residen en el área urbana de Puerto Ayora y el 22,2% en las zonas rurales de Bellavista y Santa Rosa (CGREG, 2016). Puerto Ayora es el área más densamente poblada de la provincia de Galápagos, con 61,9 habitantes por km<sup>2</sup>. Por su parte, los núcleos de Bellavista y Santa Rosa son zonas rurales extensas, 70 y 45 km<sup>2</sup> respectivamente, de uso agrícola y con predominancia de áreas de pasto y agricultura (CGREG, 2016). Los tres núcleos están estrechamente vinculados entre sí. La parroquia de Bellavista es el proveedor principal de productos agrícolas para Puerto Ayora, mientras que esta, como cabecera cantonal da servicio a las dos parroquias rurales. La relación entre Santa Rosa y Puerto Ayora es debida

fundamentalmente a la actividad turística, ya que este en núcleo se ubican lugares de gran interés (CGREG, 2016).

La Isla de Santa Cruz es el centro dinámico de la región de Galápagos debido a la presencia de instituciones como la Dirección del Parque Nacional Galápagos y la Fundación Charles Darwin. Además, es el mayor puerto pesquero y posee numerosos atractivos turísticos, lo que la convierte en un espacio de conexión y comercio, con intensa actividad turística (CGREG, 2016).

El turismo representa la principal actividad económica, aunque también destaca la presencia de los sectores comercial y artesanal, así como agropecuario y pesquero. A lo largo de los últimos años, la afluencia de visitantes a aumentado considerablemente, y de forma especialmente intensa en Santa Cruz, de forma que actualmente más del 70% de los habitantes empleados en turismo en Galápagos se encuentran en esta isla (CGREG, 2016). En cuanto a la infraestructura de Santa Cruz, la vía de mayor tránsito es la que conecta Puerto Ayora y con el aeropuerto. Asimismo, Puerto Ayora, tiene 34,5 km de vías o calles, la mayoría de ellas asfaltadas o adoquinadas y en buenas condiciones (CGREG, 2012).

En Santa Cruz pueden suceder diferentes episodios desastrosos con efectos sobre los habitantes y activos económicos. Entre otros, pueden ocurrir inundaciones, motivadas por las fuertes lluvias, flujos de lodos que comprometen la movilidad de la isla o episodios de sequía (FIC, 2019). Es especialmente relevante el caso de las inundaciones urbanas o encharcamientos en los sectores urbanos de la ciudad. También pueden ocurrir hundimientos del terreno, consecuencia de la existencia de canales subterráneos (FIC, 2019). Además, Galápagos se encuentra en una región eminentemente sísmica y que puede ser objeto de tsunamis, con grandes consecuencias sobre el sector costero (FIC, 2019).

## 4.2 Climatología

### 4.2.1 Características generales

#### 4.2.1.1 Factores que influyen en el clima de la isla

El clima de las Islas Galápagos está determinado la interacción de corrientes oceánicas que rodean las islas y vientos predominantes del sudeste (Trueman y d'Ozouville, 2010). Aunque el archipiélago está situado muy cerca del ecuador, su clima presenta características poco comunes, ya que la temperatura del mar que lo rodea es más fría de lo habitual (FIC, 2019).

Según el trabajo de Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático en la Isla de Santa Cruz de Galápagos (FIC, 2019), existe un complejo sistema de circulación marina, donde confluyen diversas corrientes. Por un lado, se encuentran la corriente *Humbolt*, proveniente del sur y que aporta aguas frías y la contra-corriente ecuatorial o subcorriente ecuatorial de *Cromwell*, proveniente del este. La interacción de estas dos corrientes es determinante en el clima local, por su capacidad para dispersar aguas frías y ricas en nutrientes de forma alternada, creando zonas de afloramiento locales y enriquecimiento de nutrientes en las capas superficiales. Por otro lado, hay una influencia de la corriente superficial subecuatorial proveniente del oeste y la corriente cálida de Panamá desde el noreste.

Se observa una confluencia de corrientes cálidas y frías, y este efecto ha generado una variedad de emplazamientos que han sido colonizados por diversidad de especies marinas y terrestres. Otros factores que tienen una influencia sobre el clima del archipiélago son (FIC, 2019):

- Las ondas del este y los vientos alisios asociados.
- El movimiento latitudinal de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), esto es, una banda cálida de convección que se mueve entre los 10°N, durante el verano del hemisferio norte y 3°N, durante el invierno (Trueman y d'Ozouville, 2010).
- La variabilidad asociada al fenómeno ENSO.
- La orografía, que influye en la caracterización de las condiciones climáticas locales. El aire húmedo llega a la isla desde una dirección, de manera que las laderas de una parte de la isla sufren precipitaciones, mientras que en la dirección opuesta son áridas (Pryet, 2011).

#### 4.2.1.2 Caracterización de las estaciones

La región se caracteriza por presentar dos estaciones diferenciadas: la estación cálida entre los meses de enero y mayo, y la estación fría, entre junio y diciembre. Durante la estación cálida se produce un desplazamiento de la ZCIT hacia el sur, de manera que el archipiélago se encuentra en la zona de calmas ecuatoriales. Esto provoca el debilitamiento de los vientos alisios y aumenta la insolación debido a la retirada de los estratos, lo que también incrementa la temperatura (Trueman y d'Ozouville, 2010). A pesar de que esta estación presenta más horas de sol, es más lluviosa debido al aumento de la tasa de evaporación, que genera una precipitación convectiva (Pryet, 2011).

En cuanto a la estación fría, la ZCIT se desplaza hacia el norte, por lo que los vientos alisios del sudeste se refuerzan, provocando temperaturas más frías y aumento de la nubosidad baja (FIC, 2019). Por ello, las precipitaciones en esta época del año son continuas y de intensidad débil (Pryet, 2011).

La siguiente imagen muestra la diferencia entre las estaciones cálida y fría en cuanto a la temperatura y precipitación. Se pueden ver claramente dos periodos diferentes en el año, frío y cálido, este último marcado por altas temperaturas y precipitaciones. Aunque la cantidad de precipitación durante la estación cálida es extremadamente variable, el pico se alcanza habitualmente en el mes de febrero (Trueman y d'Ozouville, 2010).

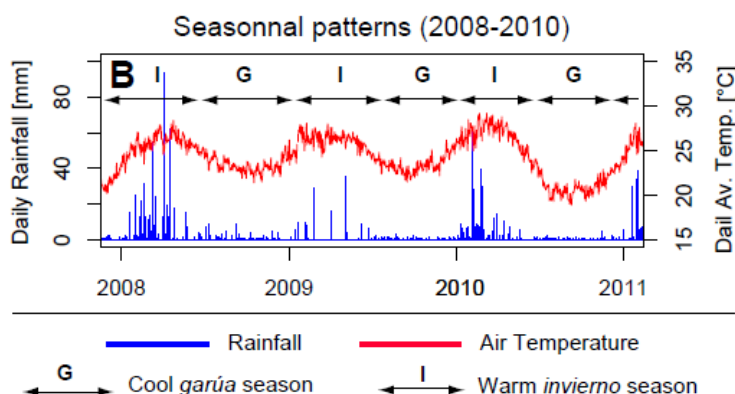


Figura 8. Datos de precipitación y temperatura diarios  
Fuente Pryet (2011).

Además, según Trueman y d'Ozouville (2010), aunque el grado de humedad es alto durante todo el año, el número medio de días de lluvia al mes es menor durante la estación cálida que durante la fría. Habitualmente, el mes con más días de lluvia es agosto, mientras que abril es el mes que presenta menos días con precipitación. No obstante, el número de días de lluvia no está relacionado con la cantidad mensual de precipitación, siendo menor de 2 mm diarios en la estación fría y mayor de 5 mm en la cálida.

#### 4.2.1.3 Zonificación de las islas

Según Trueman y d'Ozouville (2010), la estación cálida se caracteriza por la nubosidad de convección, lo que provoca episodios de precipitación que están estrechamente relacionados con la temperatura de la superficie del océano (Pryet, 2011).

Por otro lado, la estación fría presenta una capa de inversión, cuando el aire enfriado por la superficie del océano se encuentra atrapado debajo de una capa de aire más cálido, de manera que se crea condensación justo debajo la frontera entre las dos capas. Este efecto ocurre más frecuentemente en las zonas de la isla ubicadas en sentido contrario a la dirección del viento, donde el aire es empujado contra las laderas. Por lo tanto, se observa que el régimen de precipitaciones es variable con la altitud, lo que permite distinguir entre una zona seca y una zona húmeda en las islas (FIC, 2019).

Durante la estación fría, la condensación ocurre por encima de los 250 msnm y se crean extensas nubes de tipo estrato que a menudo descienden hasta el nivel del suelo. Localmente, este efecto se denomina *garúa* (Trueman y d'Ozouville, 2010). La nubosidad genera dos formas de precipitación: vertical y oculta, esta última consistente en la condensación de niebla sobre la vegetación, que después se desliza hasta el suelo. Este tipo de lluvia puede incrementar notablemente la cantidad total de precipitación en caso de existir vegetación densa (Trueman y d'Ozouville, 2010).

En consecuencia, las zonas secas se sitúan a una altitud menor de 200 metros y, además, presentan una temperatura anual de alrededor de 24°C, y una precipitación media de 400 mm, concentrados principalmente en la estación cálida. Durante la estación fría, las precipitaciones se reducen a menos de 100 mm. Las zonas húmedas, ubicadas en las partes más altas de las islas (altitudes entre 200 y 800 metros), se caracterizan por presentar una temperatura media entre 20 y 22 grados y precipitaciones débiles y persistentes.

La región costera recibe la mayor parte de la precipitación anual durante la estación cálida, mientras que son las zonas altas las que recogen más lluvia en la estación fría (Pryet, 2011).

La siguiente figura muestra la distribución de la precipitación en Santa Cruz, en las estaciones fría y cálida respectivamente. Se puede observar que, durante la *garúa*, las zonas elevadas presentan una niebla permanente, mientras que las zonas costeras no reciben precipitación. También se puede comprobar que, durante la época más caliente, la lluvia se distribuye de una forma más uniforme por todo el territorio (Pryet, 2011).

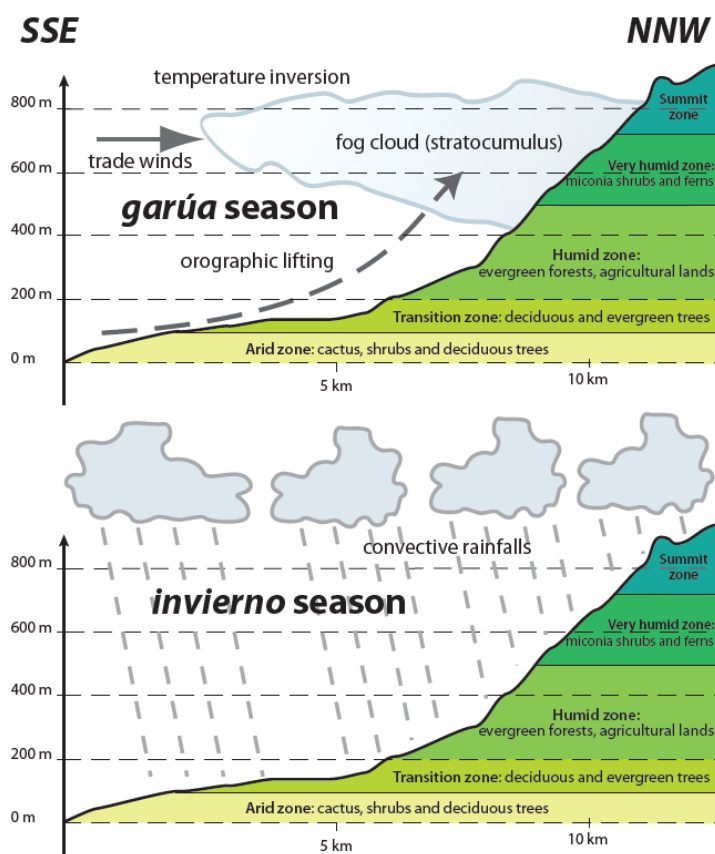


Figura 9. Estaciones fría y cálida en Santa Cruz  
Fuente: Pryet (2011).

Estas características indican que el clima de las zonas secas se puede clasificar como semi-árido de Sabana Seca, según la clasificación de Köppen-Geiger, mientras que las zonas húmedas se clasifican como clima Tropical de Sabana (FIC, 2019).

#### 4.2.1.4 Fenómeno ENSO

La región de Galápagos se ve afectada por el fenómeno atmósfera-oceano acoplado, conocido como El Niño-Oscilación Sur, también llamado ENSO, según sus siglas en inglés. Este efecto, con un periodo de ocurrencia de entre 2 y 7 años, se produce por alteraciones en el patrón global de presiones atmosféricas entre la superficie tropical y subtropical (Pryet, 2011). Durante estos episodios, se produce un debilitamiento de los vientos alisios, de forma que la transferencia de aguas profundas hacia la superficie se debilita, alterando las corrientes oceánicas y aumentando la temperatura superficial del mar. Esto provoca que las condiciones asociadas con el desplazamiento hacia el sur de la ZCIT se vean reforzadas y los vientos se debiliten aún más (FIC, 2019; Trueman y d'Ozouville, 2010).

Los efectos de El Niño sobre las Islas Galápagos se manifiestan en tres aspectos fundamentales: el aumento de temperaturas, las fuertes lluvias torrenciales y la extensión en el tiempo e intensificación de las condiciones de estación cálida (Trueman y d'Ozouville, 2010).

La temperatura del océano tiene un ciclo anual, variando entre los 25,5 grados en marzo, hasta los 21,8 en septiembre, que además coincide con el ciclo anual de temperatura del aire. Por el calentamiento del mar provocado por El Niño, la temperatura puede alcanzar hasta 29 grados (FIC, 2019). También existe una fase fría de este fenómeno, conocida como La Niña. En esta fase, la temperatura del agua puede caer hasta por debajo de los 20 grados (FIC, 2019).

Estas variaciones de temperatura de la superficie del mar ocasionados por las fases fría y caliente de ENSO provocan alteraciones en los valores medios de precipitación y temperatura en las zonas afectadas. En el caso del evento El Niño, la combinación de altas temperaturas de la superficie del océano y vientos débiles, provoca gran evaporación de agua hacia la atmósfera que, posteriormente, produce tormentas convectivas y lluvias de muy alta intensidad (Pryet, 2011). Por el contrario, el fenómeno La Niña, puede producir una disminución drástica de la precipitación, por presentar temperaturas más bajas de lo habitual (Trueman y d'Ozouville, 2010), y provocar sequías de larga duración (Pryet, 2011).

A continuación, se puede ver la variación interanual de precipitaciones y temperaturas desde el año 1967 al 2010, elaborada a partir de datos de la Fundación Charles Darwin de Puerto Ayora (Isla de Santa Cruz).

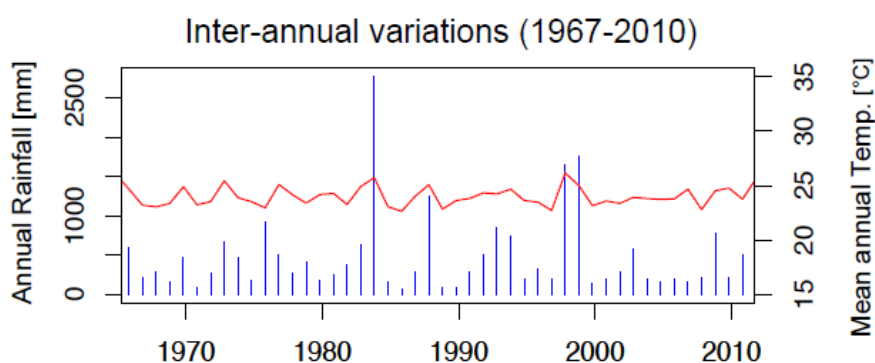


Figura 10. Variación interanual de precipitación y temperatura  
Fuente: Pryet (2011).

A lo largo de los años ha habido episodios de El Niño en el archipiélago, como los de 1975-76, 1986-87 o 1993-94, claramente visibles en el gráfico. Sin embargo, por sus efectos dramáticos sobre los ecosistemas de Galápagos, destacan los eventos de 1982-83 y 1997-98, en los que las fuertes precipitaciones se mantuvieron durante varios meses. En cuanto a los últimos años, los episodios de 2002 y 2010 causaron intensas lluvias, no obstante, el registro alto de precipitaciones del año 2008 no estuvo relacionado con un evento de El Niño (Trueman y d'Ozouville, 2010).

#### 4.2.2 Proyecciones climáticas

Dadas las condiciones actuales de cambio climático, es necesario conocer cómo será la evolución del clima a escala local para establecer políticas de adaptación que minimicen los impactos del mismo (FIC, 2019).



Los resultados aportados por FIC (2019) en base a observatorios meteorológicos repartidos por la isla y bases de datos históricos y modelos climáticos, indican que los escenarios de clima futuro presentan un ascenso progresivo de las temperaturas anuales máximas a lo largo de todo el siglo XXI. Se espera que, a finales de siglo, las temperaturas varíen entre 3 y 5 grados, dependiendo del modelo climático utilizado. Si se analizan los resultados por épocas de año, el estudio determina que las variaciones medias de temperatura máxima serán más acusadas en la época más fría (entre 3,2 y 6°C) que en la estación cálida (2,8 a 4,7°C). Además, se espera mayor incremento de las temperaturas máximas en las zonas altas de la isla respecto a las zonas de menor altitud.

Las proyecciones referentes a la temperatura mínima anual siguen una tendencia similar a la obtenida en la simulación de la temperatura máxima. Los valores medios esperados varían entre 3 y 5 grados a finales del siglo XXI. Al igual que en el caso anterior, se espera un aumento mayor de la temperatura mínima en las zonas altas de la isla, además los incrementos más acusados se darán en la estación más templada y la precipitación más leve.

De esta manera, las previsiones indican que el número de noches cuya temperatura mínima superará el umbral de los 25 grados centígrados será mayor. Por lo tanto, esta temperatura será lo suficientemente alta como para calificar estas noches como ecuatoriales. La zona que se verá menos afectada por las noches ecuatoriales será la central, aumentando el número de episodios a medida que disminuye la altitud. Se prevé que el número de noches ecuatoriales en la zona central de Santa Cruz sea de 25, mientras que en las zonas costeras se alcanzarán las 125 noches ecuatoriales.

Los episodios de ola de calor también aumentarán durante este siglo. Habrá más ocasiones en las que se supere el umbral establecido (percentil 98 de temperatura máxima) durante al menos tres días consecutivos. Asimismo, se espera que la duración de las olas de calor también sea mayor y su intensidad crecerá levemente, por debajo de 1,2 grados.

En cuando a los valores esperados de lluvias, las proyecciones indican que la precipitación anual media diaria ascenderá entre un 90 y un 140% a finales de siglo, lo que supone una variación de 2,5 a 4,5 mm/día respectivamente. Estos cambios se espera que sean más acusados en la zona costera. Desde el punto de vista estacional, en los meses de mayor precipitación, se estima que las lluvias aumentarán entre 4 y 7 mm/día, lo que supone un incremento de entre 120 y 150% respecto al nivel actual. Durante los meses más secos, el incremento no será tan acusado, aunque la variación alcanzará de 1 a 3 mm/día, con lo que la precipitación aumentará entre 50 y 120%.

Los episodios de lluvias extremas (días cuyas precipitaciones esperadas superen el percentil 99 de la serie histórica) aumentarán progresivamente a lo largo de los próximos años, especialmente en las zonas costeras. Se estima que, en las zonas bajas de la isla, el número de días con precipitaciones extremas aumentará del orden de 120 días, mientras que, en la zona central, el aumento será de 30 días a finales del siglo XXI. Otros modelos más pesimistas indican que el aumento en las zonas costeras puede ser de 210 a 240 días.

La siguiente tabla muestra un resumen de las proyecciones climáticas anteriormente descritas.

Tabla 1. Resumen de proyecciones climáticas en Santa Cruz  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

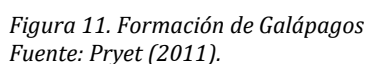
Evento/episodio	Variación respecto niveles actuales	Observaciones
<b>Temperatura máxima</b>	Aumento 3-5 grados.	La variación será más acusada en la época fría que en la cálida.
<b>Temperatura mínima</b>	Aumento 3-5 grados.	Incremento más acusado en las zonas altas y durante la estación fría.
<b>Noches ecuatoriales</b>	Aumento entre 25 y 125 noches, dependiendo de la altitud.	La zona central se verá menos afectada que la zona costera.
<b>Olas de calor</b>	Aumento < 1,2 grados.	Mayor duración e intensidad.
<b>Precipitación media diaria</b>	Aumento 40-140% (2,5 a 4,5 mm/día).	Variación más acusada en las zonas costeras y la estación más lluviosa.
<b>Lluvias extremas</b>	Aumento entre 30 y 120 episodios, dependiendo de la altitud.	La zona central se verá menos afectada que la zona costera.

## 4.3 Geología

### 4.3.1 Origen de las Islas Galápagos

La formación del archipiélago de Galápagos comenzó hace aproximadamente 3,3 millones de años. Se encuentra sobre la placa tectónica de Nazca, formada por la acción de dos dorsales oceánicas situadas encima de un *hotspot*, es decir, un punto donde el manto está más cerca de la superficie terrestre, existiendo actividad volcánica de larga duración. La expansión de estas dorsales, provoca que la placa se desplace hacia el sudeste, en dirección al continente sudamericano. Este movimiento ha provocado que las islas hayan surgido de este a oeste, siendo, por tanto, las más jóvenes las más occidentales (Stoops, 2014). La siguiente imagen muestra la situación de Galápagos respecto a las dorsales y el *hotspot* a partir del que las islas se han originado.





El material original, el clima y la vegetación son factores importantes que han condicionado el desarrollo y la formación del suelo (Stoops, 2014). Estos factores, diferentes en cada isla, hacen que las características del terreno varíen a lo largo del archipiélago. Además, dentro de una misma isla se pueden presentar diferencias climáticas que provocan que el suelo cambie a lo largo del territorio. Este es el caso de la Isla de Santa Cruz, donde la variación climatológica existente dentro de la isla, modifica las características del terreno a barlovento y sotavento. Según Adelinet, Fortin, d'Ozouville y Violette (2008), en la zona de barlovento, los suelos están más desarrollados, mientras que en sotavento presentan un desarrollo más pobre. El siguiente mapa muestra la diferencia de suelos en la Isla de Santa Cruz, claramente dependientes de la altitud y ubicación dentro de la isla.

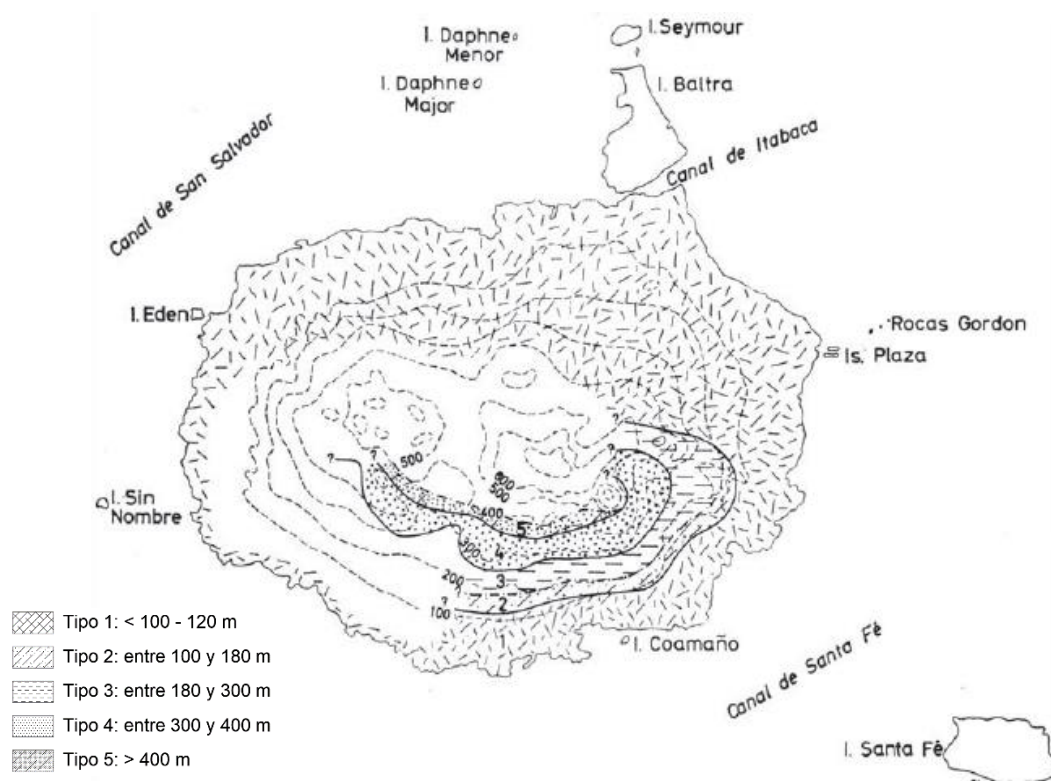


Figura 12. Distribución de diferentes tipos de suelo en Santa Cruz  
Fuente: Stoops (2014) y elaboración propia.

#### 4.3.2 Características del suelo de Santa Cruz

Todas las islas del Archipiélago de las Galápagos tienen la misma estructura general, basada en superposición de lavas. No obstante, la evolución de los suelos ha sido distinta, provocando grandes diferencias entre ellas. A pesar de que la edad de cada isla puede condicionar en gran medida su nivel de desarrollo, el factor más importante que causa la diversidad de suelos es la cantidad y distribución de la precipitación en cada isla (Adelinet et al., 2008). Asimismo, el tipo de vegetación puede jugar un papel importante en el diferente desarrollo de los suelos (Adelinet et al., 2008).

Por lo general, los suelos de Galápagos se pueden dividir en función de la altitud respecto al nivel del mar. En la parte más baja, donde la cantidad de precipitación es menor, se encuentra una capa delgada de litosoles, un tipo de suelo ubicado sobre afloramientos rocosos, cuyo espesor es menor de 10 cm y su volumen de tierra fina, de menos de 20%. En esta zona el suelo se ha desarrollado mediante erosión mecánica, conformando una estructura heterogénea donde destacan los materiales gruesos cuyos poros están interconectados. Por lo tanto, este suelo se caracteriza por su aridez, alta conductividad hidráulica (facilidad con la que el medio deja pasar el agua a través de él) y porosidad, mayor del 35% (Adelinet et al., 2008), otorgando al suelo una alta capacidad de infiltración. De esta forma, se consigue la recarga del acuífero basal ubicado debajo de estas capas de suelo.

Por tanto, el suelo de la capital de la isla, Puerto Ayora, ubicada en cotas bajas, tendrá características similares a las aquí definidas, tales como alta conductividad, aridez, porosidad y alta capacidad de filtración. Como se verá a lo largo de los siguientes apartados,

estas características serán la causa de varios problemas a la hora de implantar un sistema de drenaje y saneamiento eficiente.

Por otro lado, entre los 300 y los 450 msnm, el suelo proviene de la meteorización de depósitos piroclásticos y presenta grandes espesores, incluso de varios metros, con textura arcillosa y homogénea. A altitudes mayores, el espesor del suelo es menor y existen lavas basálticas fragmentadas que se han convertido en materiales arcillosos mediante meteorización química. Los suelos localizados en las zonas altas se caracterizan por tener una baja conductividad hidráulica y porosidad, menor del 25%. En estos lugares, la capacidad de infiltración se encuentra habitualmente en el máximo, por lo tanto, cuando aparecen lluvias, pueden presentarse tres escenarios distintos (Adelinet et al., 2008):

1. Infiltración en el suelo y recarga acuíferos.
2. Escorrentía superficial si se excede la capacidad de infiltración del suelo.
3. Almacenamiento temporalmente en el suelo y generación arroyos que perduran por un tiempo determinado.

Esta descripción puede verse resumida en la siguiente imagen:

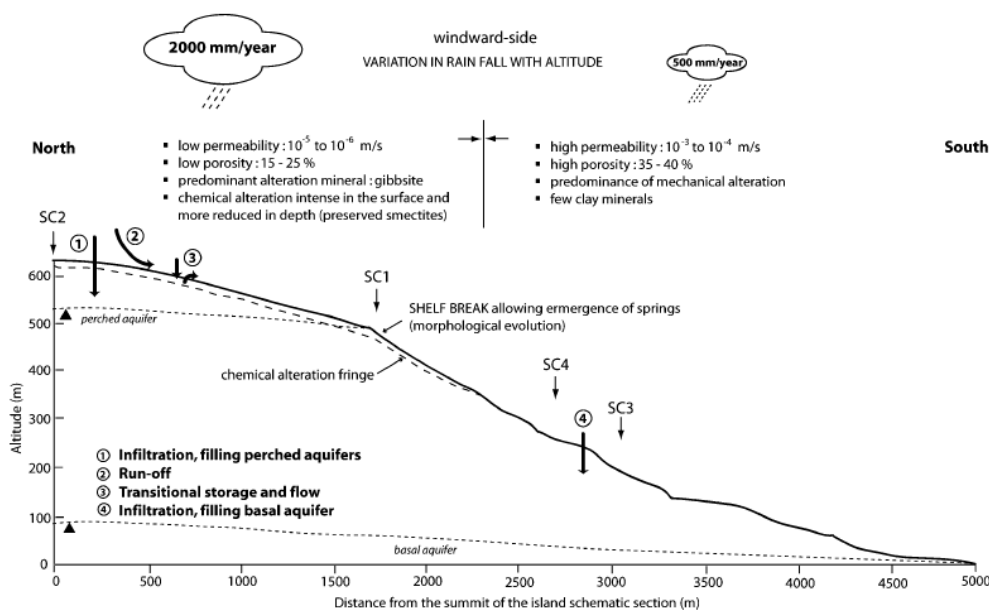


Figura 13. Características del suelo de Galápagos

Fuente: Adelinet et al. (2008).

Como se puede observar, la conductividad hidráulica en las partes altas de la isla es más baja que la medida en las zonas bajas, y esto puede relacionarse con la variación de lluvia con la altitud. Las zonas más altas reciben mayor humedad que las zonas bajas a lo largo del año, bien sea en forma de lluvia torrencial durante la estación cálida o como nieblas permanentes en la estación fría. Este aporte permanente de agua provoca que los suelos en esta ubicación estén húmedos durante la mayor parte del año (Adelinet et al., 2008).

Otro de los factores que condicionan el desarrollo del suelo es la vegetación. Se observa que las propiedades físicas del suelo pueden cambiar debido a las raíces: un suelo es más cohesivo si está cubierto de vegetación densa. Este es el caso de la Isla de Santa Cruz, donde

la vegetación está mucho más desarrollada en las zonas altas que en la costa, bien sea por especies endémicas o introducidas (Adelinet et al., 2008).

## 4.4 Sistema hídrico en la Isla de Santa Cruz

### 4.4.1 Hidrología superficial

Habitualmente, las islas volcánicas tienen una red de corrientes superficiales de agua muy escasa y los recursos de agua dulce se encuentran muy limitados, ya que la mayoría de estas corrientes no son permanentes (Pryet, 2011). Esto ocurre en el archipiélago de Galápagos, aunque existen diferencias claras entre las islas. Así, San Cristóbal, cuenta con alrededor de 30 cursos de agua recargados de forma continua por fuentes permanentes, mientras que en Santa Cruz no existen cursos de agua duraderos (Adelinet et al., 2008).

La Isla de Santa Cruz presenta flujos superficiales temporales principalmente en forma de escorrentía superficial, ocasionada tras periodos de intensas lluvias o durante la estación húmeda. No obstante, se tiene constancia de un único cauce temporal en la isla, ya que, a una altitud de 400 msnm, surge un arroyo si las condiciones son idóneas (Adelinet et al., 2008).

Según Adelinet et al. (2008), una de las razones de esta carencia de aguas superficiales sería la topografía de la isla, ya que la gran pendiente que presentan las zonas altas, impediría el desarrollo de cauces permanentes. Por otro lado, Pryet (2011), afirma que las grietas que caracterizan al terreno volcánico filtran el agua hacia el subsuelo rápidamente impidiendo la creación de flujos superficiales duraderos. La Figura 14 muestra el modelo conceptual que define la hidrología de la Isla de Santa Cruz, según Pryet (2011).

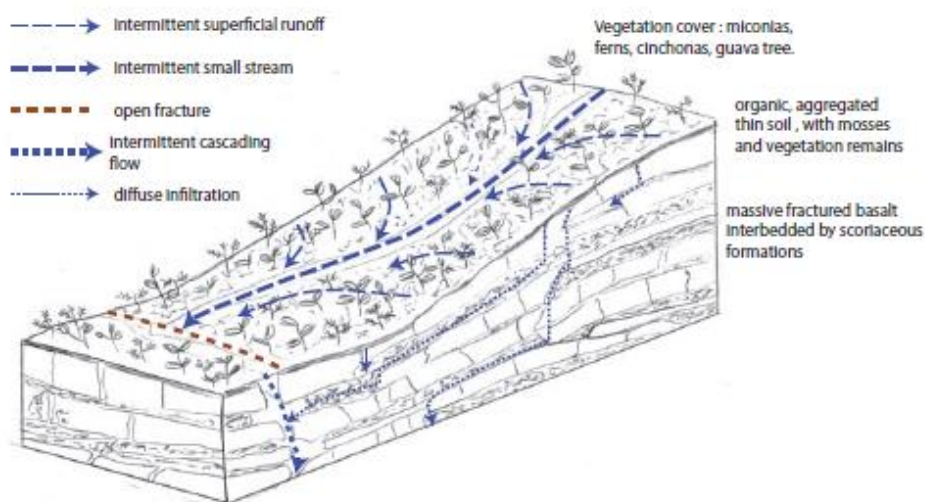


Figura 14: Modelo hidrológico conceptual de Santa Cruz  
Fuente: Pryet (2011).

#### 4.4.2 Hidrología subterránea

En las Islas Galápagos, la precipitación varía en función de la elevación, siendo mayor en las zonas altas y menor en altitudes más bajas. A lo largo de los años, la climatología ha modificado el suelo, variando sus propiedades físicas en consonancia con las variaciones de lluvia. Así, mediante alteraciones físicas e hidrodinámicas, se ha desarrollado un aumento de material arcilloso a medida que aumenta la elevación. De esta manera, se obtiene una reducción de la porosidad y, por lo tanto, de la permeabilidad, incrementando la retención de agua en las zonas altas (Adelinet et al., 2008).

En la mayoría de las islas volcánicas, los acuíferos basales son la fuente principal de agua subterránea. Comúnmente, en este tipo de acuíferos, un cuerpo de agua subterránea flota sobre un cuerpo de agua salada y se recarga mediante precipitaciones (Pryet, 2011). En las zonas costeras de este tipo de islas habitualmente, existen intrusiones de agua salada de diferentes magnitudes y, hacia el interior, la geometría del acuífero basal puede variar notablemente dependiendo de las características particulares de cada isla (Pryet, 2011).

En la zona sur de Santa Cruz existen numerosas fracturas en el terreno que son suficientemente profundas y anchas como para conectar el acuífero con el océano, convirtiéndolo en salobre. Aun así, este acuífero representa el recurso principal de agua de la isla durante todo el año (Pryet, 2011).

La influencia de la intrusión del agua salada en el acuífero se extiende, como mínimo, hasta 4.7 km hacia el interior de la isla. Esto se conoce debido a que existen dos pares de pozos excavados en la isla. Un par se encuentra a 4,7 km de la costa (los llamados *pozo profundo* y *pozo testigo*) y llegan a una profundidad de 160 metros. Estos pozos se utilizan para bombeo de agua y para observación respectivamente (Pryet, 2011). La siguiente imagen muestra la ubicación de *pozo profundo* en la isla y el corte hidrogeológico que se verá representado posteriormente en la Figura 16.

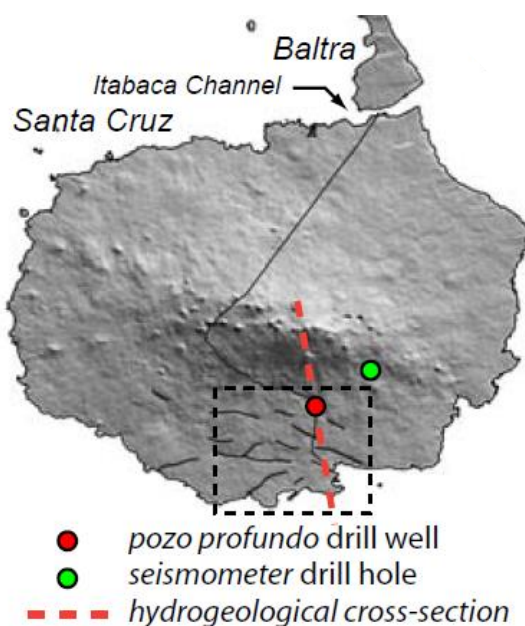


Figura 15. Ubicación de pozo profundo  
Fuente: Pryet (2011).



Otros dos pozos se ubican en zonas más altas (aproximadamente a 250 msnm), a 7,6 km de la costa. Estos pozos tienen 100 metros de profundidad y su punto más bajo se encuentra a 150 msnm. Estos pozos están secos, y de esta manera se puede determinar que el acuífero basal tiene una elevación muy baja, prácticamente igual al nivel medio del océano (Pryet, 2011).

La Figura 16 muestra un diagrama del acuífero basal de Santa Cruz, en el que se aprecia cómo se distribuyen las aguas salada, salobre y dulce bajo la superficie de la isla, discontinuidades, grietas y pozos.

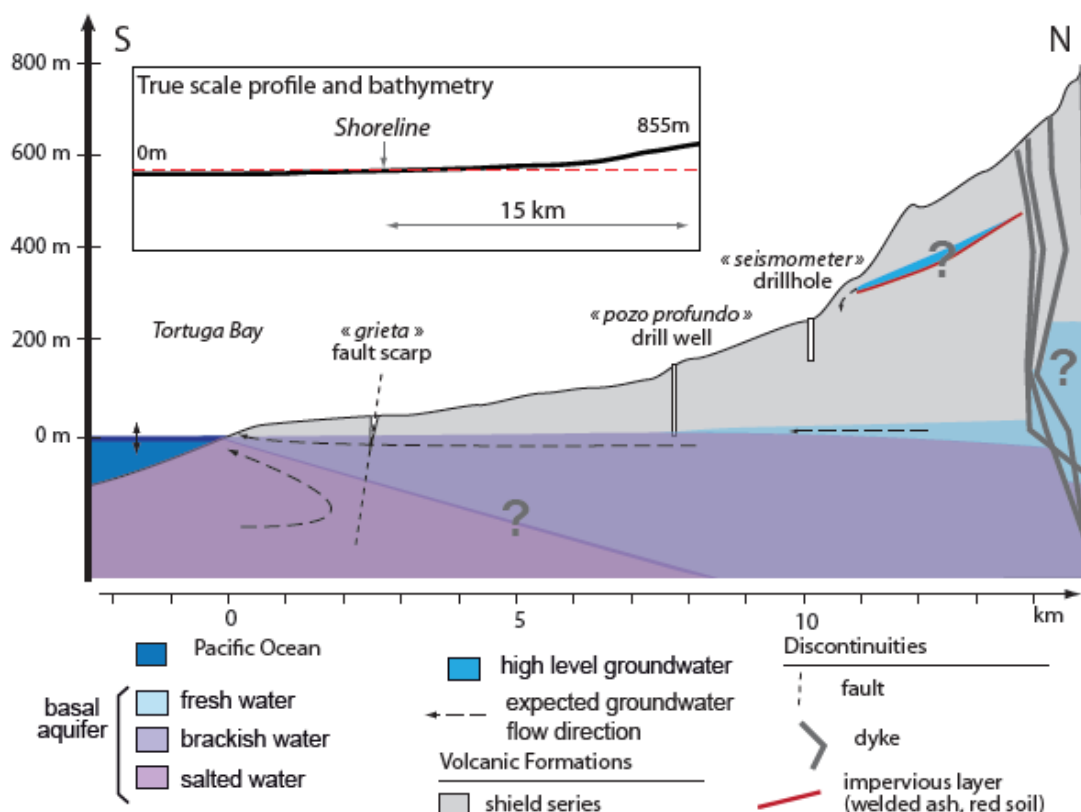


Figura 16. Diagrama del acuífero salobre de Santa Cruz  
Fuente: Pryet (2011).

#### 4.4.3 Descripción del problema hídrico

A excepción de la Isla de San Cristóbal, donde abundan los recursos de agua dulce durante todo el año, las demás islas habitadas del archipiélago de Galápagos sufren una importante carencia de agua, que desde hace tiempo supone un gran problema (Pryet, 2011). Esta situación se vuelve crítica en el caso de Santa Cruz, donde sólo se identifica un recurso que perdura en el tiempo. Se trata de un acuífero de agua salobre, actualmente contaminado por la proximidad a las zonas pobladas (Liu y d'Ozouville, 2013). En el caso de Santa Cruz, la falta de agua no se debe a una escasez de lluvia, sino que la gran permeabilidad del terreno, hace imposible la retención de agua proveniente de precipitación.

Puerto Ayora, capital de la isla, no cuenta con un sistema apropiado de alcantarillado y las aguas residuales se almacenan en fosas sépticas privadas. No obstante, las numerosas



grietas del terreno permiten un drenaje rápido al subsuelo, de manera que muchos de los desechos llegan directamente al acuífero sin ningún tipo de tratamiento (Pryet, 2011).

Por este motivo, el acuífero presenta altos niveles de contaminación. Posteriormente, esta agua se distribuye a la población sin un tratamiento adecuado, por lo que su calidad es muy baja. Además, se detectan bacterias causantes de numerosas enfermedades, de forma que no es apta para el consumo o, incluso, para uso doméstico. Otros métodos de obtención de agua utilizados especialmente en las zonas alta de la isla son pequeñas plantas de desalinización o recogida de agua de lluvia (Pryet, 2011).

## 4.5 Núcleo urbano de Puerto Ayora

Las Islas Galápagos son un emplazamiento único que, desde los primeros asentamientos en el siglo XIX, ha experimentado un proceso de urbanización de sus tres islas habitadas. No obstante, ha sido en los últimos 25 años cuando ha surgido un considerable aumento de población (Benítez, Mena y Zurita-Arthos, 2018). Esta evolución demográfica y socioeconómica de las islas coincide con su declaración como Patrimonio Natural de la Humanidad en 1978, lo que las ha convertido en un importante destino turístico a nivel mundial (CGREG, 2016).

### 4.5.1 Situación actual

La población se distribuye bajo un modelo de asentamiento territorial similar en los tres cantones de Galápagos. El modelo se basa en un núcleo urbano portuario que constituye la cabecera cantonal y que se articula con las parroquias rurales de las partes más altas de las islas mediante una vía que sirve como eje de expansión urbana (CGREG, 2016). Este es el caso de Puerto Ayora, ciudad ubicada en la costa sur de Santa Cruz, donde la vía Baltra es la principal salida de la ciudad y eje de conexión con las parroquias de Bellavista y Santa Rosa.

Actualmente, Puerto Ayora cuenta con 11974 habitantes (CGREG, 2016) y tiene un área de suelo urbano consolidado de 193,3 hectáreas, según el Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir (PNG, 2014). La ciudad se divide en 18 barrios (Figura 17), aunque presenta una superficie urbana no consolidada de gran extensión, hasta un 40% del área consolidada (CGREG, 2016).

En la organización espacial actual priman los suelos de uso residencial y comercial-turístico en el sector costero. En la zona central destacan equipamientos comerciales, sociales e institucionales.

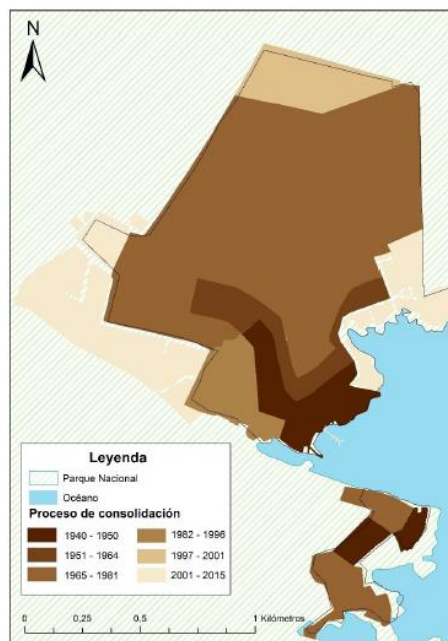
En cuanto a la vivienda, existen grandes diferencias entre barrios. *El Edén* y *Punta Estrada* presentan las viviendas de mayor tamaño y mejor calidad, con tipologías individuales. Por el contrario, los sectores de menores ingresos, tales como las zonas alejadas de la costa en los barrios centrales y barrios periféricos, presentan vivienda adosada. En estos puntos coexisten diferentes tipologías de edificaciones, desde una hasta tres plantas. No obstante, hay una importante tendencia a dejarlas inconclusas, sobretodo en barrios menos consolidados (GADMSC, 2012).



*Figura 17. Barrios de Puerto Ayora*  
*Fuente: elaboración propia a partir de datos de GADMSC (2012).*

#### 4.5.2 Evolución histórica de Puerto Ayora

La ocupación del suelo se inicia en el muelle y ha progresado hacia los límites entre la zona urbana y el Parque Nacional. La siguiente imagen muestra un diagrama de dicha expansión hasta el año 2015:



*Figura 18. Consolidación urbana de Puerto Ayora (1940-2015)*  
*Fuente: Bonilla et al. (2020).*

La situación actual es el resultado de la sucesión de diferentes procesos urbanos desarrollados fundamentalmente a partir de los años 40 (GADMSC, 2012). Hasta esta fecha, los asentamientos se situaban en el área de los actuales barrios *Central*, *Punta Estrada*, *Las Ninfas* y *Pelican Bay*, aunque estas zonas no estuvieron consolidadas hasta años después (GADMSC, 2012). Estas áreas, articuladas por la vía Charles Darwin, se caracterizan por las actividades pesqueras, comercio y un turismo incipiente (GADMSC, 2012).

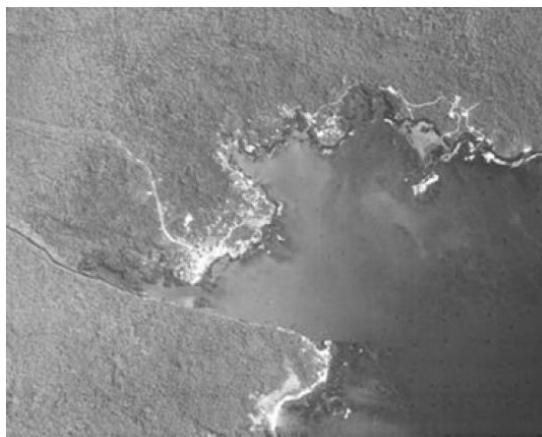
La segunda fase del desarrollo de Puerto Ayora tiene lugar en los años 50 y 60, a partir de la creación de la vía Baltra hacia Bellavista. En este momento aparecen los barrios de *Las Acacias* y *La Alborada*, sectores residenciales donde comienza a desarrollarse actividad comercial (GADMSC, 2012). Posteriormente, con la llegada de inmigrantes a la ciudad entre los años 1960 y 1985, crece la demanda de espacio urbano, lo que lleva ampliar estos barrios con una tendencia de crecimiento concéntrico (GADMSC, 2012). Este nuevo desarrollo da lugar a los barrios de *El Edén* y parte de *Miraflores* y *Pampas Coloradas* (GADMSC, 2012).

A partir de la década de 1980, la ciudad duplica la superficie que ocupaba anteriormente, siendo necesaria su ampliación hacia los actuales barrios de *Pampas Coloradas*, *Los Cactus*, *Matazarinos*, *Los Arrayanes*, *La Unión* y *Las Orquídeas* (GADMSC, 2012).

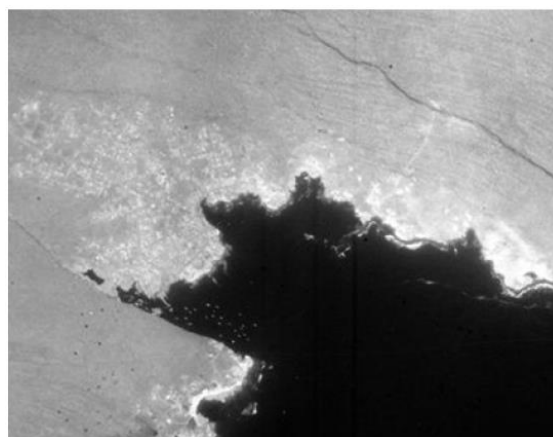
Posteriormente, se crean *La Cascada* y *Escalezia*, en el extremo norte del territorio (GADMSC, 2012). La trama urbana de estas dos zonas difiere considerablemente de las anteriores. En estos barrios se ha dividido el terreno en lotes más pequeños de lo establecido, conformando micro solares con vías de 3 metros de ancho. Este hecho ha dado lugar a emplazamientos que no respetan los mínimos urbanísticos y en los que existe una excesiva densificación (Bonilla, et al., 2020).

Finalmente, en 2001, surge el barrio de *El Mirador* como respuesta a la escasez de vivienda. Esta zona, situada en la parte alta de la ciudad, surge como permuta de suelo entre las parroquias de Puerto Ayora y Bellavista, y la dirección del Parque Nacional, por lo que se asienta sobre zonas originalmente protegidas, y no en zonas urbanas (Bonilla, et al., 2020). Esta nueva urbanización aumenta la superficie de Puerto Ayora en 40% de su tamaño original, con espacio para más de 1130 nuevas viviendas (GADMSC, 2012). No obstante, muchas de las parcelas aún se encuentran vacías a día de hoy (Bonilla, et al., 2020).

Las siguientes imágenes tomadas por satélite muestran el proceso de desarrollo urbano de la ciudad de Puerto Ayora.



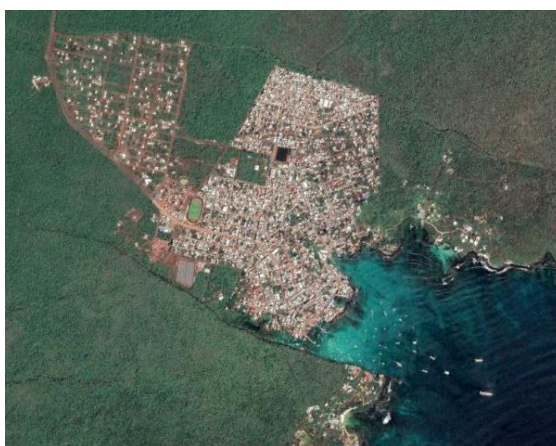
*Figura 19. Núcleo urbano de Puerto Ayora en 1963*  
*Fuente: Guevara Ruiz (2010).*



*Figura 20. Núcleo urbano de Puerto Ayora en 1986*  
*Fuente: Guevara Ruiz (2010).*



*Figura 21. Núcleo urbano de Puerto Ayora en 2006*  
*Fuente: Google Earth (2020).*



*Figura 22. Núcleo urbano de Puerto Ayora en 2019*  
*Fuente: Google Earth (2020).*

## 5 Adaptación urbana frente al cambio climático: marco de referencia

Según el Grupo de Trabajo II del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), la adaptación es el “proceso de ajuste al clima, real o proyectado, y sus efectos” (IPCC, 2014, p.5). En lo que respecta a los sistemas humanos, IPCC (2014) indica que la adaptación trata de moderar los daños y aprovechar las oportunidades beneficiosas.

Para el desarrollo de las propuestas de adaptación, se consideran tanto las referencias internacionales en materia de cambio climático (5.1), como la normativa estatal (5.2) y los diferentes marcos de ordenación local (5.3). La revisión de estos documentos implica la incorporación de sus limitaciones y criterios en la definición de las estrategias de adaptación.

### 5.1 Normativa internacional en materia de cambio climático

Se deben cumplir diversos compromisos internacionales, entre los que destacan:

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, cuyo objetivo es desarrollar un marco cooperativo internacional que permita a todos los países hacer frente a los riesgos que plantea el cambio climático, y promueva la cooperación.
- Acuerdo de París (2015), que establece entre sus objetivos básicos aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia del clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.
- Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres (2015-2030), que compromete a las partes firmantes a reducir el riesgo de desastres y construir resiliencia. El cambio climático es reconocido de forma explícita como uno de los impulsores del riesgo de desastres.
- Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (2015), aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas, se trata de “un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz mundial y el acceso a la justicia”.

La Agenda 2030 define 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Seis de ellos guardan una estrecha relación con el cambio climático y el medioambiente, y otros cinco están afectados por los impactos que el cambio climático está ejerciendo en las zonas más vulnerables.

La base del análisis de vulnerabilidad y riesgo corresponden a los descritos por el 5º Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). No obstante, otros marcos teórico-prácticos consolidados en el seno de otras instituciones públicas y privadas, también servirán de apoyo al análisis de los diferentes componentes del riesgo. Es este sentido, se hace referencia a las guías prácticas elaboradas por el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), el Banco Asiático de Desarrollo (ADB), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Oficina de Reducción del Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas (FIC, 2019).



Desde hace más de 20 años, CAF ha promovido la creación e implantación de estudios y programas sobre las amenazas naturales y su mitigación. De esta manera, los países pueden trabajar en el reconocimiento de las responsabilidades que tienen los actores del desarrollo y la creación de vulnerabilidades y el impulso de políticas nacionales, sectoriales y territoriales de prevención y mitigación de riesgos (Miquilena, Corrales, Orrego y Rojas, 2014).

## 5.2 Normativa estatal en materia de cambio climático

Recientemente, la problemática derivada del cambio climático ha suscitado un interés creciente por parte de las instituciones estatales e instrumentos de política y gestión territorial de Ecuador, que ha supuesto la creación de nueva normativa en materia de análisis e intervención. Desde hace años, el gobierno trabaja en establecer medidas de adaptación a las nuevas condiciones climáticas, con el fin de reducir la vulnerabilidad de la población ante los riesgos del cambio climático. Además, impulsa medidas de mitigación para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Según el Ministerio del Ambiente (2015), el Marco Regulatorio Nacional de Cambio Climático se compone de:

- Constitución de Ecuador (2008). Se abordan los derechos de la naturaleza y hace referencia explícita a la temática del cambio climático (Art. 414).
- Plan Nacional del Buen Vivir (2013-2017). En su Objetivo 7 garantiza los derechos de la naturaleza y promueve la sostenibilidad ambiental territorial y global. La Política 7.10, impulsa medidas de mitigación y adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad económica y ambiental.
- Subsecretaría de Cambio Climático – SCC (octubre 2009). Se encarga de la formulación y ejecución de la estrategia nacional y del plan que permita generar e implementar acciones y medidas para concienciar a la población sobre la importancia de la lucha contra el cambio climático, mediante mecanismos de coordinación y articulación interinstitucional.
- Acuerdos Ministeriales. El acuerdo número 95 establece como Política de Estado la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

Además, el Decreto Ejecutivo 1815 (2009) y el Decreto Ejecutivo 495 (2010) destacan la necesidad de aplicar medidas de adaptación y reducción de los efectos del cambio climático, además de señalar estrategias de intervención necesarias, de acuerdo con los objetivos internacionales de cambio climático.

El Gobierno de Ecuador ha elaborado una Estrategia Nacional de Cambio Climático 2012-2025 (ENCC), que lidera el Ministerio de Ambiente. Este documento aborda los desafíos que presenta el cambio climático para el conjunto de la población, por lo que tiene en cuenta los distintos sectores. Analiza qué sectores generan mayores emisiones y la importancia de cada uno en la economía del país. También analiza cuáles son los compromisos que Ecuador debe llevar a cabo para cumplir con lo establecido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

ENCC cuenta con dos líneas estratégicas que buscan la reducción de la vulnerabilidad y de emisiones de gases de efecto invernadero. Por un lado, la adaptación al cambio climático



pretende crear y fortalecer la capacidad de los sistemas social, económico y ambiental para afrontar los impactos derivados del cambio climático, y, por otro lado, la estrategia de mitigación del cambio climático pretende crear condiciones favorables para la adopción de medidas que reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero y para aumentar los sumideros de carbono en los sectores estratégicos.

En lo que respecta a adaptación, la Segunda Comunicación Nacional (SCN) de Ecuador identifica 9 iniciativas, 17 proyectos y 185 estudios referidos específicamente a vulnerabilidad y cambio climático en los sectores de agricultura, agua, gestión del riesgo, bosques, infraestructura o clima. Algunos de ellos ya se han desarrollado y otros están aún en fase de implementación.

### 5.3 Normativa local en materia planeamiento

Pese a no ser específico de cambio climático, es necesario conocer el marco local de planeamiento urbanístico, puesto que será la herramienta que permita desarrollar las medidas, incorporando sus limitaciones y sus principales objetivos. Con ello se pretende hacer que las medidas propuestas sean plausibles y coherentes con la legislación local vigente.

El gobierno del Cantón cuenta con dos herramientas de gestión y ordenación:

- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón de Santa Cruz 2012-2027.
- Plan de movilidad sustentable de la Isla de Santa Cruz 2014-2024.

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial elaborado por el GAD de Santa Cruz (2012) pretende, mediante planes y estrategias, impulsar el desarrollo económico del cantón, mejorar la gestión ambiental y los aspectos político-administrativos, conseguir un desarrollo equilibrado del espacio geográfico, impulsar estrategias de gestión frente a riesgos naturales, propiciar el uso sustentable de los recursos y articular el desarrollo urbano y rural, entre otros. Para ello, se basa en el Ordenamiento Territorial, concebido como un “proceso de planificación a través del que configurar una organización del uso y ocupación del territorio en función de las potencialidades y limitaciones del mismo” (GADMSC, 2012, p.5).

Por su parte, el Plan de movilidad sustentable de la isla de Santa Cruz realiza un diagnóstico de la situación actual del cantón, en los aspectos referentes al tránsito (vehicular y peatonal), transporte terrestre y seguridad vial (CGREG, 2012). Asimismo, propone líneas de actuación y estrategias a corto, medio y largo plazo, así como recomendaciones específicas para cada tema, que serán aplicadas mediante el desarrollo de normativa general y específica (CGREG, 2012).

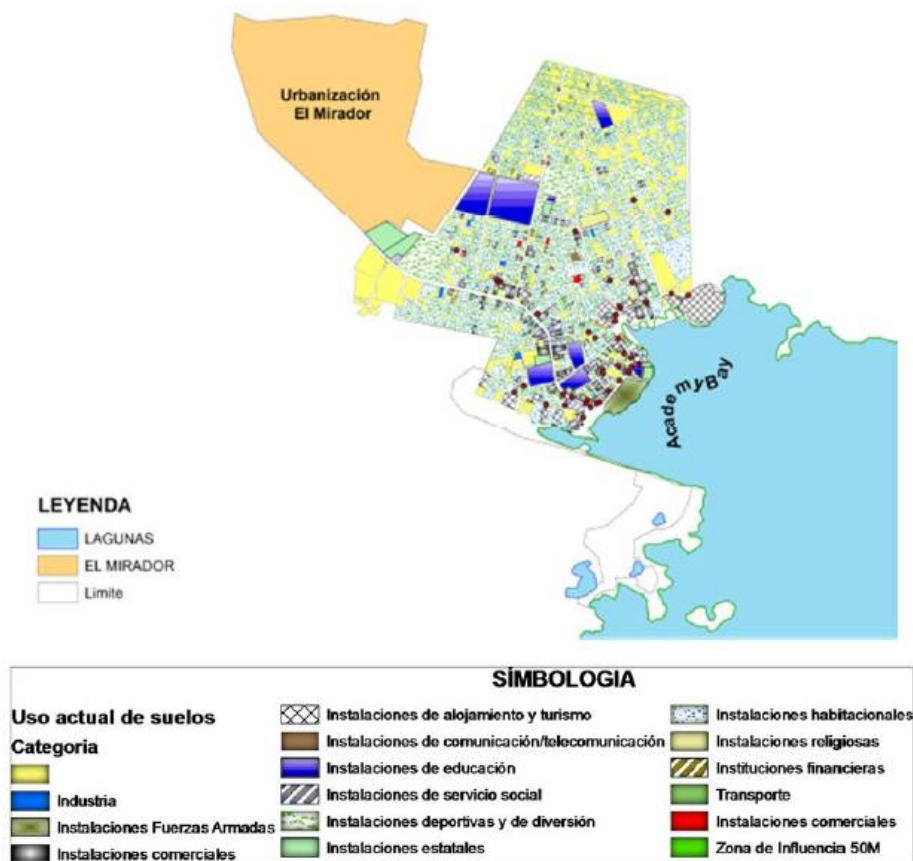


Figura 23. Mapa de usos del suelo en Puerto Ayora  
Fuente: GADMSC (2012).

## 6 Métodos y herramientas

### 6.1 Metodología de evaluación del riesgo de encharcamiento

La metodología a seguir para la determinación del riesgo derivado de cada zona de encharcamiento parte de los conceptos de amenaza, exposición y vulnerabilidad desarrollados por el Grupo de Trabajo II del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (Oppenheimer et al., 2014).

Previamente y dentro del mismo grupo del IPCC, Cardona et al. (2012) han establecido las definiciones de estos conceptos, de forma que:

- **Amenaza:** hace referencia a la ocurrencia posible y futura de eventos físicos o inducidos por el ser humano, que provocan efectos adversos sobre los elementos expuestos y vulnerables.
- **Exposición:** se trata del conjunto de elementos en un área sobre los que puede existir una amenaza.
- **Vulnerabilidad:** es la propensión de los elementos expuestos a sufrir efectos adversos tras la ocurrencia de un evento que constituye una amenaza. Está relacionado con la predisposición, susceptibilidad, debilidades y deficiencias que favorecen los efectos negativos sobre los elementos expuestos.

En base a estas definiciones, el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5) define la fórmula general del riesgo como función de la probabilidad de ocurrencia de un determinado evento (amenaza) multiplicado por sus consecuencias adversas (exposición y vulnerabilidad), y que ha sido recogido por diferentes instituciones con la siguiente fórmula general del Riesgo (Naciones Unidas, 2016; Ihobe, 2019), de manera que:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Exposición} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Asimismo, para el IPCC la vulnerabilidad depende de la sensibilidad y la capacidad adaptativa. El término sensibilidad hace referencia a la predisposición física de seres humanos, infraestructura y entorno de verse afectados por una amenaza, y el concepto de capacidad adaptativa evalúa las limitaciones en cuanto al acceso y movilización de recursos por parte de habitantes e instituciones, además de la incapacidad de anticipar, adaptar y responder frente a impactos sociales, ecológicos y económicos derivados de las amenazas (Cardona et al., 2012; CIIFEN, 2018; Sharma y Ravindranath, 2019).

A lo largo de este estudio se elaborarán indicadores con el fin de determinar numéricamente los niveles de amenaza, exposición y vulnerabilidad a los que está sometido cada barrio y zona de encharcamiento, respectivamente. A partir de estos tres factores, se podrá determinar el nivel de riesgo, necesario para establecer criterios de actuación y concretar dónde y cómo se debe actuar frente a las amenazas de inundación.

Para la obtención del índice de vulnerabilidad se propondrán indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa. No obstante, surge el problema de que la capacidad adaptativa se debe evaluar a nivel de ciudad, siendo indivisible a nivel barrial o por zonas de

encharcamiento. Por ello, aunque se detallarán los indicadores disponibles por su relevancia, en el cálculo final de vulnerabilidad solo se tendrá en cuenta el índice extraído de los indicadores de sensibilidad. Por lo tanto, en este caso, los valores de vulnerabilidad serán iguales a los de sensibilidad.

Los índices de amenaza, exposición y vulnerabilidad serán de carácter cuantitativo, por lo que es necesario incorporar un método de control y normalización de las variables que las haga comparables entre sí y que permita su integración en un indicador final que resuma las propiedades del sistema estudiado. Por ello, la normalización de variables numéricas se realizará de la siguiente manera, de forma que los resultados estén comprendidos entre 0 y 1.

$$I = \frac{\text{valor observado}}{\text{peor valor}}$$

El peor valor es el máximo de la serie, aquel que representa una mayor amenaza, exposición o vulnerabilidad. De esta forma, los resultados más positivos serán aquellos próximos a cero, donde el valor observado es considerablemente menor que el peor valor de la serie. Asimismo, los índices de amenaza, exposición o vulnerabilidad aumentarán a medida que el valor observado se aproxime al peor valor de la serie, siendo cada vez más cercanos al valor 1.

Tras calcular los índices normalizados correspondientes a los tres factores, se clasificarán los resultados en base a método de Jenks o de rangos de corte natural. Este sistema permite agrupar datos similares, maximizando las diferencias entre clases. Este sistema permite visualizar fácilmente la tendencia general de la distribución de la serie resultante. Posteriormente, se podrá aplicar la fórmula del riesgo descrita al comienzo de este apartado y representar los resultados sobre el plano.

Los siguientes apartados detallan los métodos seguidos para determinar los índices de amenaza, exposición y vulnerabilidad a partir de indicadores, así como la descripción de estos.

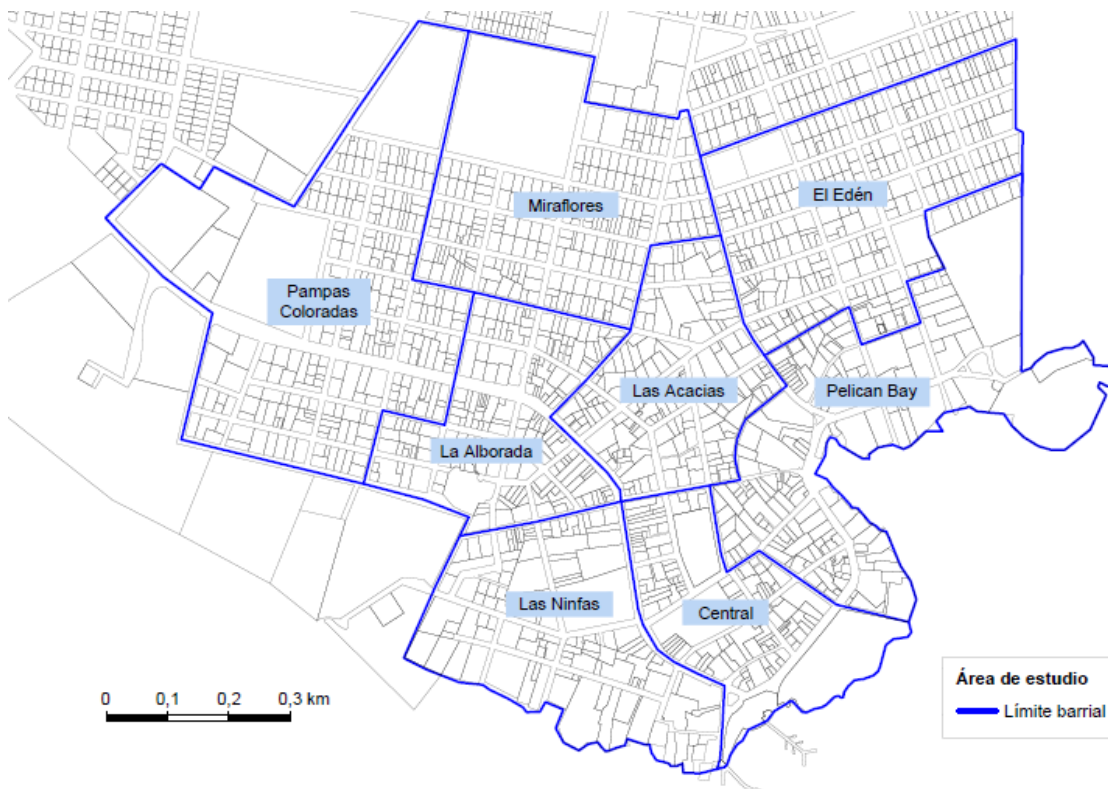
### 6.1.1 Evaluación de la amenaza de encharcamiento

El análisis de la amenaza y sus consecuencias sobre los activos presentes servirá como punto de partida para identificar indicadores de amenaza y exposición. De esta manera, se podrá cuantificar numéricamente la amenaza vinculada a cada barrio y zona de encharcamiento y, además, determinar el nivel de exposición de los sistemas existentes.

La magnitud de la amenaza de encharcamientos sobre Puerto Ayora viene dada por la probabilidad de ocurrencia de dicha inundación. En este estudio se abordarán únicamente aquellas zonas de la ciudad que presenten una amenaza de nivel medio o alto y que se ubiquen en las zonas céntricas de la ciudad, donde la posible afección a población y servicios es mayor.

Por ello, el análisis se centrará en los barrios de *Pampas Coloradas*, *Miraflores*, *El Edén*, *Las Acacias*, *La Alborada*, *Central*, *Las Ninfas* y *Pelican Bay*. Se trata de los barrios más céntricos, que concentran la práctica totalidad de los servicios de Puerto Ayora, además de la mayor parte del comercio y la hostelería. Por esta razón, las afecciones debidas a encharcamiento

en esta zona tendrían un impacto mayor que en otros puntos de la ciudad. No obstante, hay que destacar que el problema de inundación se extiende por toda el área consolidada de Puerto Ayora, incluyendo los barrios situados al norte de la ciudad, como *La Unión*, *La Cascada*, *Los Arrayanes* o *Matazarnos*.



*Figura 24. Distribución de los barrios analizados en el área central de Puerto Ayora*  
*Fuente: elaboración propia a partir de GADMSC (2012).*

Seguidamente, se expone una breve descripción de los barrios estudiados, extraída del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón de Santa Cruz (2012-2027), elaborado por el Municipio (GADMSC, 2012).

*Tabla 2. Densidad por barrios del área central*  
*Fuente: GADMSC (2012).*

Barrio	Densidad de población (hab/ha)	Uso principal
Pampas Coloradas	49,92	Residencial
Miraflores	94,83	Residencial
El Edén	52,94	Residencial
Las Acacias	74,35	Residencial/comercial
La Alborada	105,73	Residencial/comercial
Central	34,38	Servicios
Las Ninfas	30,14	Residencial
Pelican Bay	19,71	Comercial/turístico

A lo largo de esta primera fase del estudio se examinarán las características de cada zona inundable desde varios puntos de vista. En primer lugar, se analizará su ubicación y extensión, para posteriormente determinar qué equipamientos se encuentran en esas zonas y que, por tanto, se encuentran potencialmente en riesgo. El mismo análisis se llevará a cabo para determinar qué vías están más afectadas, puesto que algunas de ellas tienen una especial importancia, bien sea por su carácter comercial o de servicios, o por constituir una vía principal de salida de ciudad o de conexión entre barrios.

El análisis de la población amenazada contará, no solo con la población residente en Puerto Ayora, sino también con aquella que se aloja en hoteles. Esta distinción es importante ya que el turismo es la principal industria de la isla y se contabilizan gran cantidad de hoteles en la zona de estudio. El análisis de población residente amenazada se realizará partiendo de la densidad de población de cada barrio y el área de parcelas residenciales adyacentes a una zona inundable. Por otro lado, la población no permanente se determinará teniendo en cuenta la ocupación habitual en los hoteles de Puerto Ayora, el número de camas por alojamiento y el número de alojamientos ubicados en el área de estudio.

Todos estos resultados se aplicarán en el cálculo de los índices de amenaza y exposición a partir de los indicadores que se detallan a continuación.

## 6.1.2 Cálculo del índice de amenaza

Los datos recabados sobre el área de cada zona de inundación pueden ser de gran utilidad para cuantificar la magnitud de amenaza. Además, realizando una hipótesis acerca de la altura de encharcamiento asociado a una amenaza media y alta, se puede estimar el volumen agua encharcada. Estos resultados constituyen dos indicadores que permitirán calcular el nivel de amenaza, tanto por zonas de encharcamiento, como por barrios.

Por tanto, los indicadores a partir de los que se calculará el índice de amenaza serán:

- Indicador de amenaza en función del área encharcada.
- Indicador de amenaza en función del volumen de encharcamiento.

### 6.1.2.1 Indicador de amenaza en función del área encharcada

Se partirá del área de cada zona de encharcamiento y se ponderará este valor según nivel de amenaza siguiendo criterio experto, de forma que:

Tabla 3. Factores de ponderación según nivel de amenaza  
Fuente: elaboración propia.

Nivel de amenaza	Factor de ponderación
ALTA	1,00
MEDIA	0,66
BAJA	0,33
NULA	0,00

A partir del resultado se obtendrá un índice de amenaza en base al área siguiendo la metodología de normalización entre 0 y 1 descrita en el apartado 6.1.



Para la obtención del índice por barrios, se tomará el área conjunta de las zonas de encharcamiento pertenecientes a cada barrio y se ponderará según nivel de amenaza utilizando los factores presentados en la tabla anterior. De nuevo, se obtendrá un índice entre 0 y 1 siguiendo el mismo método.

#### *6.1.2.2 Indicador de amenaza en función del volumen de encharcamiento*

Se parte de la hipótesis de que una amenaza alta produce un encharcamiento de 0,50 metros de altura, mientras que en una amenaza media es de 0,25 metros. Así, tomando los mismos datos de áreas que en el indicador anterior y multiplicando por altura correspondiente, se obtendrá un volumen de inundación, tanto para zonas, como para barrios.

Seguidamente, los resultados se normalizarán para obtener los índices entre 0 y 1.

#### *6.1.2.3 Índice de amenaza*

Para obtener un índice conjunto que represente la amenaza asociada a cada barrio y zona de encharcamiento, se sumarán los resultados de los indicadores anteriores y se normalizarán entre 0 y 1. De esta manera, se obtendrá una serie de valores, representativos de la amenaza, y que se podrán utilizar en el cálculo del riesgo.

Para visualizar los resultados de amenaza asociada a barrios y zonas sobre el plano de forma más sencilla, se agruparán los resultados numéricos en categorías, de manera que se puedan ver los resultados en forma de indicadores cualitativos (amenaza baja, media o alta).

### **6.1.3 Cálculo del índice de exposición**

La superposición de los mapas de amenaza con los diversos activos potencialmente sensibles al clima determinará el factor de exposición. En este caso, se consideran amenazados la población, las viviendas, los equipamientos y las infraestructuras. La relación de estos sistemas con las superficies inundables ya se habrá determinado en la fase de evaluación de la amenaza, por ello, se elaborarán tres indicadores de exposición basados en estos sistemas.

- Indicador de exposición de población.
- Indicador de exposición de equipamientos.
- Indicador de exposición del viario principal.

De esta forma, se podrá cuantificar la exposición de cada barrio en función de estos tres elementos y combinarlos para tener una visión global de la exposición total a la que está sometido cada uno. El mismo análisis, con estos tres indicadores se realizará para cada zona de encharcamiento, de manera que se pueda conocer cuál es la más problemática, y llegado el momento, establecer sectores de actuación prioritarios.

#### *6.1.3.1 Indicador de exposición de población*

Se partirá de los datos de población totales de cada barrio y se repartirán entre la cantidad de población bajo amenaza media y amenaza alta. De esta forma, se otorgará un factor de ponderación a cada grado de amenaza (igual que en Tabla 3) y se obtendrá una suma ponderada de habitantes amenazados por encharcamiento y el porcentaje que esto supone respecto a la población total. Finalmente, este valor se normalizará para conocer su equivalente entre 0 y 1 que representará la exposición de la población de cada barrio dependiente del nivel de amenaza.

Se realizará el mismo cálculo para la población por zonas de encharcamiento.

#### *6.1.3.2 Indicador de exposición de equipamientos*

Para este análisis, los equipamientos se clasificarán según su relevancia, de manera que los equipamientos de importancia alta serán los que abastezcan a toda la población del área de estudio, mientras que los de importancia media serían relevantes únicamente a nivel de barrio. El resto de equipamientos presentes se calificarán como de importancia baja.

Para el cálculo de este indicador se determinará el número de equipamientos amenazados de cada nivel presentes en cada barrio, en función de los datos recopilados en el análisis de amenaza. Esta clasificación permitirá dar un valor de ponderación a cada nivel, de manera que se pueda evaluar la exposición de los equipamientos numéricamente. Además, se tendrán en cuenta de nuevo los niveles de amenaza (media o alta) ponderándolos al igual que en el indicador de población.

Este cálculo dará como resultado un indicador de exposición de equipamientos de cada barrio que podrá ser normalizado para su posterior integración en el cálculo de un indicador de exposición global.

De nuevo, se llevará a cabo el mismo análisis desde el punto de vista de las zonas individuales de encharcamiento.

#### *6.1.3.3 Indicador de exposición del viario principal*

Conociendo la longitud total del viario principal amenazado en cada barrio y teniendo en cuenta el nivel de amenaza a efectos de ponderación, se obtendrá el porcentaje ponderado de viales principales del barrio bajo amenaza. Este valor se normalizará para su comparación. Se llevará a cabo el mismo análisis desde el punto de vista de las zonas teniendo en cuenta la longitud de cada superficie de encharcamiento sobre la infraestructura vial.

#### *6.1.3.4 Índice de exposición*

El índice de exposición total se basará en la combinación de los índices cuantitativos anteriores. Este índice se normalizará, al igual que en los casos previos. Finalmente, para visualizar los resultados de exposición barrial y zonal sobre el plano de forma más sencilla, se agruparán estos resultados numéricos en categorías siguiendo el método de Jenks, de

manera que se puedan ver los resultados en forma de indicadores cualitativos (exposición baja, media o alta).

#### 6.1.4 Metodología de análisis de vulnerabilidad

El cálculo de la vulnerabilidad se fundamenta en los análisis de sensibilidad y capacidad adaptativa de los elementos del área de estudio. Ante la escasa disponibilidad de datos a nivel barrial para realizar las evaluaciones de sensibilidad y capacidad adaptativa, se recurrirá a los resultados del documento de Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático en la Isla de Santa Cruz de Galápagos, elaborado por la Fundación para la Investigación del Clima (FIC, 2019) para CAF-Banco de Desarrollo de América Latina en 2019.

Este documento da como resultado el índice de sensibilidad numérico para todos los barrios de los tres núcleos habitados de Santa Cruz, así como una calificación del grado de capacidad adaptativa a nivel general. Puesto que el estudio de FIC (2019) enfoca su análisis sobre todos los barrios de Santa Cruz y todas las amenazas derivadas del cambio climático, muchos de los indicadores no son relevantes para este trabajo.

A continuación, se expone la metodología de cálculo de los índices de sensibilidad y capacidad adaptativa seguida por FIC (2019). También se detalla qué indicadores se utilizarán y cómo será el proceso de obtención de los resultados finales.

##### 6.1.4.1 Índice de sensibilidad

El estudio de FIC (2019) trata tres dimensiones en el análisis de la sensibilidad climática derivada de la ocurrencia de amenazas hidrometeorológicas en Santa Cruz, que son:

- Dimensión económica: los eventos hidrometeorológicos reducen las capacidades productivas y actividades económicas principales de la isla, con afección importante sobre el sector turístico. Este efecto repercute negativamente sobre las oportunidades y continuidad laboral de los afectados.
- Dimensión social: los eventos hidrometeorológicos causan impacto en cuanto al número de damnificados, heridos, perjudicados o muertos, así como sobre los bienes y formas de vida de la población.
- Dimensión ambiental: estas amenazas causan daños ambientales que repercuten en la calidad de vida de los habitantes de Santa Cruz. Reducen la capacidad protectora del suelo, ponen en peligro ecosistemas de alto valor ecológico y especies protegidas y reducen los servicios ambientales básicos de los ciudadanos. (p.140)

Mediante estos tres elementos se puede definir la intensidad del impacto de una amenaza sobre un territorio concreto. Por ello, es crucial el conocimiento de aquellos factores sociales, económicos y ambientales que puedan tener una influencia sobre el área de estudio. Así, el proceso de cálculo del índice de sensibilidad comienza con la elaboración de indicadores que estudian exhaustivamente estas tres dimensiones.

Los indicadores y sus resultados para los barrios pertenecientes al área de estudio se extraen del documento elaborado por FIC (2019), del que se toman aquellos que resulten relevantes para este caso.

A continuación, se detallan los indicadores que se utilizarán para definir el índice de sensibilidad:

Tabla 4. Relación de indicadores utilizados para el cálculo de la sensibilidad  
Fuente: FIC (2019).

<b>Indicadores relacionados con factores sociales</b>
1. Densidad de población neta (hab/ha)
2. Presencia de población anciana (%)
3. Presencia de niños de edad menor o igual a 5 años (%)
4. Presencia de población discapacitada (%)
5. Tasa de población analfabeta (%)
6. Presencia de población sin afiliación al sistema sanitario (%)
7. Acceso al servicio de abastecimiento de agua por red pública (%)
8. Déficit constructivo en paredes y pisos (%)
9. Hogares hacinados (%)
<b>Indicadores relacionados con factores económicos</b>
1. Dependencia climática sectorial – turismo (%)
2. Desempleo (%)
<b>Indicadores relacionados con factores ambientales</b>
1. Índice de presión turística socio-ambiental (plazas/100 hab; plazas/km <sup>2</sup> )
2. Contaminación de aguas subterráneas

Los resultados por barrio de cada indicador se normalizarán del mismo modo que en el cálculo de los índices de amenaza y exposición, de manera que se puedan comparar posteriormente y sea posible combinarlos para calcular un índice normalizado conjunto que dé cuenta de la sensibilidad de cada barrio. En aquellos casos donde no existan resultados por barrios, pero sí de la ciudad de Puerto Ayora, se dará el mismo valor a todos, esto es, 1 en el indicador normalizado.

Una vez hecho esto, se otorgará una calificación de sensibilidad a cada barrio (alta, media o baja) siguiendo el método de Jenks y se plasmarán los resultados sobre el mapa para una mejor visualización.

Con el fin de calcular el nivel de riesgo, a cada zona de encharcamiento se le aplicará el índice de sensibilidad del barrio en el que se encuentre.

#### 6.1.4.2 Índice de capacidad adaptativa

La capacidad adaptativa se mide en función de las herramientas y características del territorio que lo hacen más resiliente frente a los impactos del cambio climático y que permiten aprovechar las oportunidades asociadas a él (FIC, 2019).

En su documento de Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático en la Isla de Santa Cruz de Galápagos, FIC (2019) evalúa la capacidad de adaptación en función de cuatro factores:

- Información, sensibilización y conocimiento de la población y de las instituciones públicas sobre aspectos relacionados con el cambio climático y sus consecuencias sobre el territorio.

- Actores y gobernanza, entendidos como las unidades administrativas que trabajan sobre el cambio climático y comités locales para el monitoreo del medioambiente y la gestión de los desastres.
- Disponibilidad de planes y procedimientos locales en relación con el cambio climático y la gestión de los desastres (sistemas de alerta temprana, planes de emergencia, planes de prevención de riesgos, etc.).
- Prioridades de inversión en mantenimiento y protección de infraestructura, gasto público en salud, desarrollo económico, asistencia social, educación y protección del medioambiente. (p.210)

En base a estos factores, FIC (2019) ha elaborado indicadores que permiten analizar el grado de capacidad de adaptación. No obstante, los resultados no se pueden disgregar por barrios, sino que se dan para toda la isla, por ello, a efectos de cálculo el índice de capacidad adaptativa será igual a 1 para todos los barrios y zonas.

#### 6.1.4.3 Índice de vulnerabilidad

Según el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN, 2018), la vulnerabilidad de un sistema depende de sus valores de sensibilidad y capacidad adaptativa siguiendo la siguiente fórmula.

$$\text{Índice de vulnerabilidad} = \text{Sensibilidad} - \text{Capacidad adaptativa}$$

Dada la imposibilidad de obtener datos a nivel barrial para conocer los resultados de los indicadores de capacidad adaptativa, este índice será común a todas las zonas del área de estudio. Por eso, a efectos de cálculo de índice de vulnerabilidad, no se tendrá en cuenta el factor de capacidad adaptativa, sino que solo dependerá de la sensibilidad.

Por tanto, el índice de vulnerabilidad del área de estudio será igual a su índice de sensibilidad. Tras realizar los cálculos, se hará una clasificación de los valores de vulnerabilidad (alta, media o baja) siguiendo el método de Jenks.

#### 6.1.5 Índice de riesgo

Conocidos los índices de amenaza, exposición y vulnerabilidad, se podrá calcular el riesgo vinculado a los barrios y zonas de encharcamiento, tal y como se indica en el apartado 6.1. La determinación del nivel de riesgo permitirá establecer zonas piloto en las que desarrollar actuaciones para adaptar los sistemas expuestos a los efectos de la inundación.

## 6.2 Metodología para la evaluación de las medidas propuestas

Una vez determinado el nivel de riesgo asociado a barrios y zonas, se establecerá un ámbito de actuación formado por aquellos barrios en los que el nivel de riesgo sea mayor, o que, por sus características, requieran una acción inmediata contra las inundaciones.

Posteriormente, se propondrán medidas de adaptación en función de las características y limitaciones del área de estudio. Para ello, se tomarán como base las especificaciones señaladas por la Alcaldía de Puerto Ayora y el estudio de casos de referencia que avalen la utilidad de dichas medidas. Por lo tanto, la justificación de las actuaciones se realizará mediante el estudio de planes, proyectos y programas de éxito internacional, en los que la viabilidad haya sido exhaustivamente analizada en su emplazamiento.

Una vez se determinen las medidas a llevar a cabo, se evaluará la mejora que estas suponen en cuanto a reducción del nivel de riesgo anteriormente calculado. Para ello, se tendrá en cuenta la mejoría en cuanto a área inundada y volumen de encharcamiento, y población, equipamientos e infraestructuras expuestas. Finalmente, se calculará de nuevo el nivel de riesgo siguiendo la misma metodología, de manera que se pueda cuantificar la mejora, por comparación con el estado inicial.



## 7 Análisis aplicado al caso de Puerto Ayora

### 7.1 Base de datos previa

#### 7.1.1 Caracterización de la amenaza de inundabilidad

Partiendo del mapa de inundabilidad del área central de Puerto Ayora desarrollado por FIC (2019), se podrán detectar los usos del suelo y determinar soluciones adecuadas para cada zona afectada.

##### 7.1.1.1 Elaboración del mapa de inundabilidad

Según FIC (2019), el nivel de amenaza por inundaciones derivadas de encharcamientos pluviales en Puerto Ayora se ha elaborado teniendo en cuenta modelizaciones hidráulicas y resultados de profundidades y velocidades de agua en la ciudad. Posteriormente, el nivel de amenaza se ha evaluado de acuerdo a las normas de la Agencia Catalana del Agua, según las cuales, el nivel de amenaza por inundación se divide en bajo, moderado y elevado. Este método de evaluación se observa en la siguiente figura.

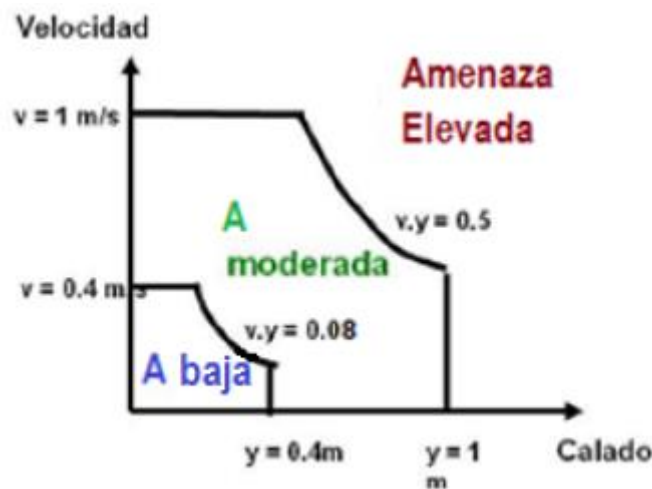


Figura 25. Evaluación de amenaza por inundación  
Fuente: FIC (2019).

Por lo tanto, este es el criterio por el que se obtienen zonas de encharcamiento de Puerto Ayora. Los datos de calado y velocidad del agua de lluvia necesarios para la aplicación del criterio se han obtenido por medio de la modelización hidráulica IBER, tras un preprocesado previo con objeto de mitigar las limitaciones encontradas en la fuente original, tal y como se detalla a continuación (FIC, 2019):

- Los resultados de la modelización parten de un modelo digital de terreno continuo, obtenido a partir de polígonos de Thiessen sobre curvas de nivel discontinuas o levantadas sólo a nivel vial para Puerto Ayora. Esto conlleva una sobreestimación

- espacial de la posible incidencia de la amenaza, lo que se resuelve aplicando un filtro de corte sobre los límites de las curvas de nivel levantadas a nivel vial.
- Los encharcamientos ponen en peligro la integridad de los bienes materiales, como viviendas, y ocasionan problemas de movilidad en la ciudad. Puesto que no se tiene información sobre la altitud de las áreas amanzanadas y sus viviendas, no se puede inferir una amenaza sobre las mismas. Por lo tanto, los resultados se limitan a las áreas viales propensas a inundación, sin llegar a evaluar los efectos sobre las viviendas colindantes.
  - Los resultados de amenaza finales han sido cotejados con los puntos en peligro por encharcamiento cartografiados y suministrados por la alcaldía de Santa Cruz y el Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos, de manera que estas zonas de encharcamiento puedan ser correctamente calibradas. (p.130)

A continuación, se observa el resultado cartográfico de amenaza por encharcamiento vial en Puerto Ayora para el largo plazo (amenaza baja en amarillo, media en naranja y alta en rojo) (FIC, 2019).

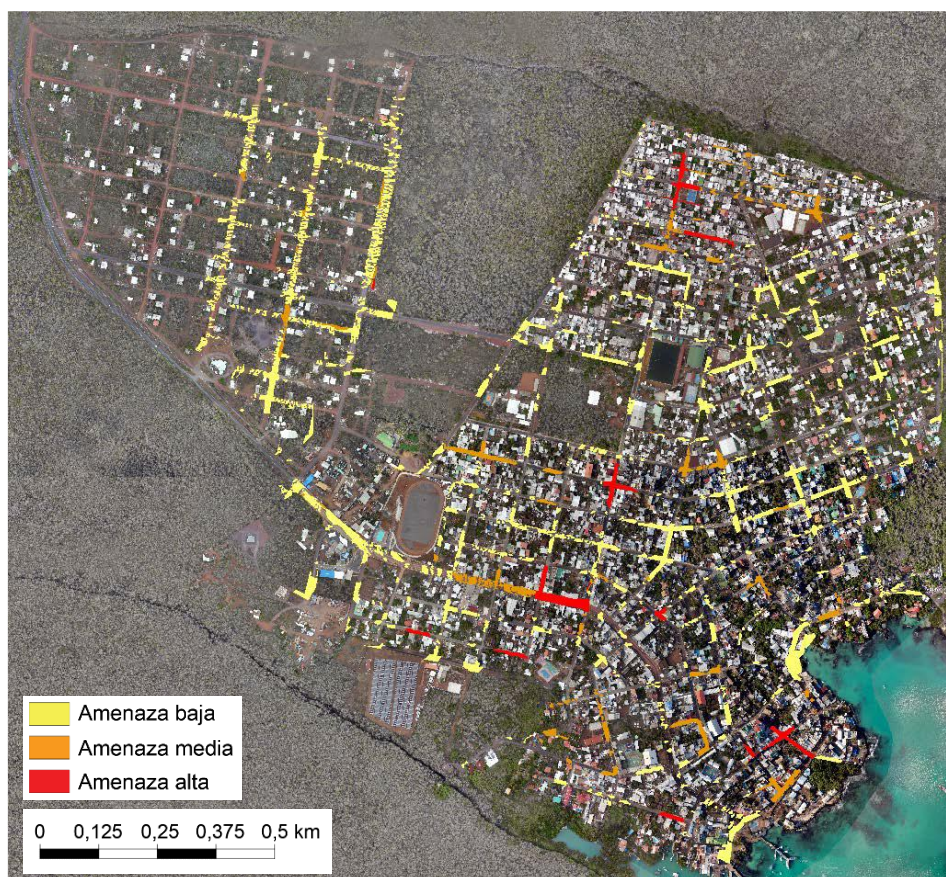


Figura 26. Amenaza por encharcamiento en Puerto Ayora  
Fuente: FIC (2019).

### 7.1.1.2 Descripción de las zonas afectadas

La siguiente figura muestra el mapa de inundación sobre el que se elaborará el análisis. En él se observan las zonas con amenaza de inundación media (en naranja) y amenaza de inundación alta (en color rojo). Las áreas de pequeño tamaño se han unido según proximidad y nivel de amenaza, y se han numerado para hacer más sencillo el análisis. De esta manera, se analizarán 29 zonas inundables en Puerto Ayora.

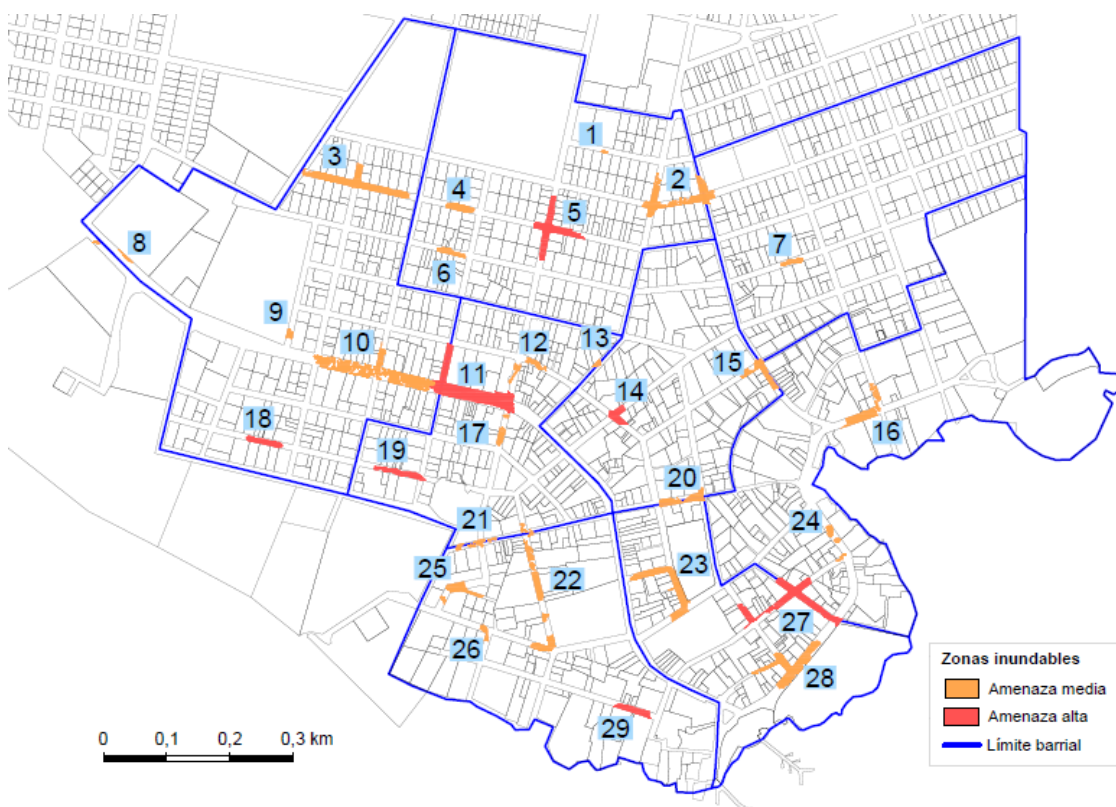


Figura 27. Zonas inundables Puerto Ayora  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

La siguiente tabla muestra las características principales de estas zonas, tales como su nivel de amenaza, su ubicación, a nivel de barrio y de calle, y el área de cada superficie de encharcamiento.

Tabla 5. Caracterización de las zonas de encharcamiento  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Nivel de amenaza	Barrio/s afectados	Localización/es	Área zona (m²)
1	MEDIO	Miraflores	C/ Juan León Mera	37,46
2	MEDIO	Miraflores y El Edén	C/ San Cristóbal C/ José Joaquín de Olmedo C/ Isla Floreana	1845,79
3	MEDIO	Pampas Coloradas	C/ Isabela C/ Petrel	1932,92



4	MEDIO	Miraflores	C/ Petrel	391,99
5	ALTO	Miraflores	C/ Petrel C/ Islas Duncan	1614,04
6	MEDIO	Miraflores	C/ Fragata	306,76
7	MEDIO	El Edén	C/ Fragata	215,27
8	MEDIO	Pampas Coloradas	Avda. Padre Julio Herrera	155,46
9	MEDIO	Pampas Coloradas	C/ Bartolomé	131,28
10	MEDIO	Pampas Coloradas	Avda. Baltra C/ Española	2990,77
11	ALTO	Pampas Coloradas y la Alborada	Avda. Baltra C/ Genovesa	3264,84
12	MEDIO	La Alborada	C/ Islas Duncan C/ General Rodríguez Lara	375,24
13	MEDIO	La Alborada y Las Acacias	C/ San Cristóbal	86,99
14	ALTO	Las Acacias	C/ 18 de febrero C/ General Rodríguez Lara	480,83
15	MEDIO	Las Acacias, El Edén y Pelican Bay	C/ Isla Floreana C/ Cucuve	679,30
16	MEDIO	Pelican Bay	Avda. Charles Darwin Avda. Seymour	928,04
17	MEDIO	La Alborada	C/ Islas Duncan	294,87
18	ALTO	Pampas Coloradas	C/ Albatros	450,65
19	ALTO	La Alborada	C/ Albatros	572,58
20	MEDIO	Las Acacias y Central	C/ Indefatigable C/ Islas Plaza	697,83
21	MEDIO	La Alborada y Las Ninfas	C/ Indefatigable	270,81
22	MEDIO	La Alborada y Las Ninfas	C/ Juan Montalvo C/ Charles Binford	1429,92
23	MEDIO	Central	C/ 10 de marzo C/ General Rodríguez Lara C/ Charles Binford	1561,45
24	MEDIO	Pelican Bay	Avda. Charles Darwin	270,99
25	MEDIO	Las Ninfas	C/ Islas Duncan	570,81
26	MEDIO	Las Ninfas	C/ Charles Binford C/ Las Ninfas	198,19
27	ALTO	Central y Pelican Bay	C/ Tomás de Berlanga C/ Islas Plaza C/ 12 de febrero Avda. Charles Darwin	2194,06
28	MEDIO	Central	Avda. Charles Darwin C/ Islas Plaza C/ Enrique Fuentes	1739,05
29	ALTO	Las Ninfas	C/ Moisés Brito	487,95

Se observa que algunas zonas ocupan una superficie muy pequeña, de manera que las afecciones por encharcamiento serían mínimas. No obstante, la inundación de las zonas 10, 11, 27 y 28, puede suponer un gran problema para el transporte, las viviendas o los equipamientos adyacentes a las mismas, debido a su ubicación en las dos vías principales de la ciudad (Avenida Baltra y Avenida Charles Darwin). Así mismo, estas áreas serían de especial importancia debido a su gran extensión y magnitud del nivel de amenaza, ya que las zonas 11 y 27 están calificadas como de peligro alto de encharcamiento.

Si se tiene en cuenta la superficie amenazada por encharcamiento desde el punto de vista de los barrios afectados, se puede conocer el porcentaje de superficie de cada barrio que estaría afectada por inundaciones. Las siguientes tablas muestran el porcentaje de amenaza media y alta que presenta cada barrio respecto a su área total, y el porcentaje de la superficie total de cada uno que se encuentra bajo amenaza de inundación, independientemente del nivel de peligro.

Tabla 6. Porcentaje de superficie afectada por barrio para amenaza media y alta  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Área del barrio (m <sup>2</sup> )	Área amenaza media (m <sup>2</sup> )	% barrio en amenaza media	Área amenaza alta (m <sup>2</sup> )	% barrio en amenaza alta
<b>Pampas Coloradas</b>	231846,80	5210,43	<b>2,25</b>	1021,68	<b>0,44</b>
<b>Miraflores</b>	155418,62	2171,74	<b>1,40</b>	1614,04	<b>1,04</b>
<b>El Edén</b>	153149,82	625,53	<b>0,41</b>	0,00	<b>0,00</b>
<b>Las Acacias</b>	92704,86	1048,79	<b>1,13</b>	480,83	<b>0,52</b>
<b>La Alborada</b>	95811,70	918,90	<b>0,96</b>	3266,29	<b>3,41</b>
<b>Central</b>	94309,24	3593,49	<b>3,81</b>	1457,43	<b>1,55</b>
<b>Las Ninfas</b>	127518,18	2280,44	<b>1,79</b>	487,95	<b>0,38</b>
<b>Pelican Bay</b>	180799,45	1262,07	<b>0,70</b>	736,64	<b>0,41</b>

Tabla 7. Porcentaje de superficie bajo amenaza de encharcamiento por barrio  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Área del barrio (m <sup>2</sup> )	Área encharcamiento total (m <sup>2</sup> )	% barrio amenazado
<b>Pampas Coloradas</b>	231846,80	6232,11	<b>2,69</b>
<b>Miraflores</b>	155418,62	3785,79	<b>2,44</b>
<b>El Edén</b>	153149,82	625,53	<b>0,41</b>
<b>Las Acacias</b>	92704,86	1529,62	<b>1,65</b>
<b>La Alborada</b>	95811,70	4185,19	<b>4,37</b>
<b>Central</b>	94309,24	5050,92	<b>5,36</b>
<b>Las Ninfas</b>	127518,18	2768,39	<b>2,17</b>
<b>Pelican Bay</b>	180799,45	1998,70	<b>1,11</b>

Se observa que el barrio con la mayor superficie de amenaza media es el *Central*, con un 3,81% en peligro, mientras que el que presenta una menor amenaza es *El Edén*, con un 0,41% de su superficie.

Por otro lado, *La Alborada*, presenta una superficie bajo amenaza alta de inundación respecto a la superficie total mayor que los demás barrios, siendo de 3,41%. *El Edén* no presenta ninguna superficie en amenaza alta, mientras que *Las Ninfas*, con un 0,38% de superficie afectada, es el barrio que presenta un menor peligro de encharcamiento.

No obstante, si se tienen en cuenta los datos combinados para ambos niveles de amenaza, el barrio más afectado sería *Central*, con un 5,36% de su superficie afectada por inundaciones, seguido por *La Alborada* (4,37%) y *Pampas Coloradas* (2,69%). Por el contrario, la afección por inundaciones en la zona más oriental de la ciudad presenta niveles

bajos, siendo, en *El Edén*, de 0,41%, seguido por los barrios de *Pelican Bay* (1,11%) y *Las Acacias* (1,65%).

Si se toman los datos combinados de las 29 superficies afectadas a lo largo de todos los barrios, se obtiene que el 2,31% del área de estudio está bajo amenaza de inundación. De este porcentaje, aproximadamente dos tercios se califican como zonas de amenaza media (65,37%), y únicamente un tercio como zona de amenaza alta (34,63%).

### 7.1.2 Amenaza sobre los equipamientos

Conocer la ubicación de los equipamientos permite conocer la naturaleza de cada barrio, bien sea residencial, comercial o dedicado a los servicios. Además, la localización de los equipamientos en relación a la ubicación de las superficies de inundación estudiadas ayudará a determinar cuáles son las posibles afecciones derivadas de este evento, de manera que se pueda evaluar sobre qué zonas se debe actuar para paliar el posible riesgo de encharcamiento.

Utilizando mapas extraídos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón de Santa Cruz (2012-2027) y datos del Visor Cartográfico de Ecuador, se han podido identificar y ubicar sobre el mapa diversos equipamientos presentes en Puerto Ayora. Entre ellos destacan centros educativos y sanitarios, servicios públicos y zonas comerciales.

La siguiente figura muestra la distribución de dichos equipamientos sobre el área de estudio.

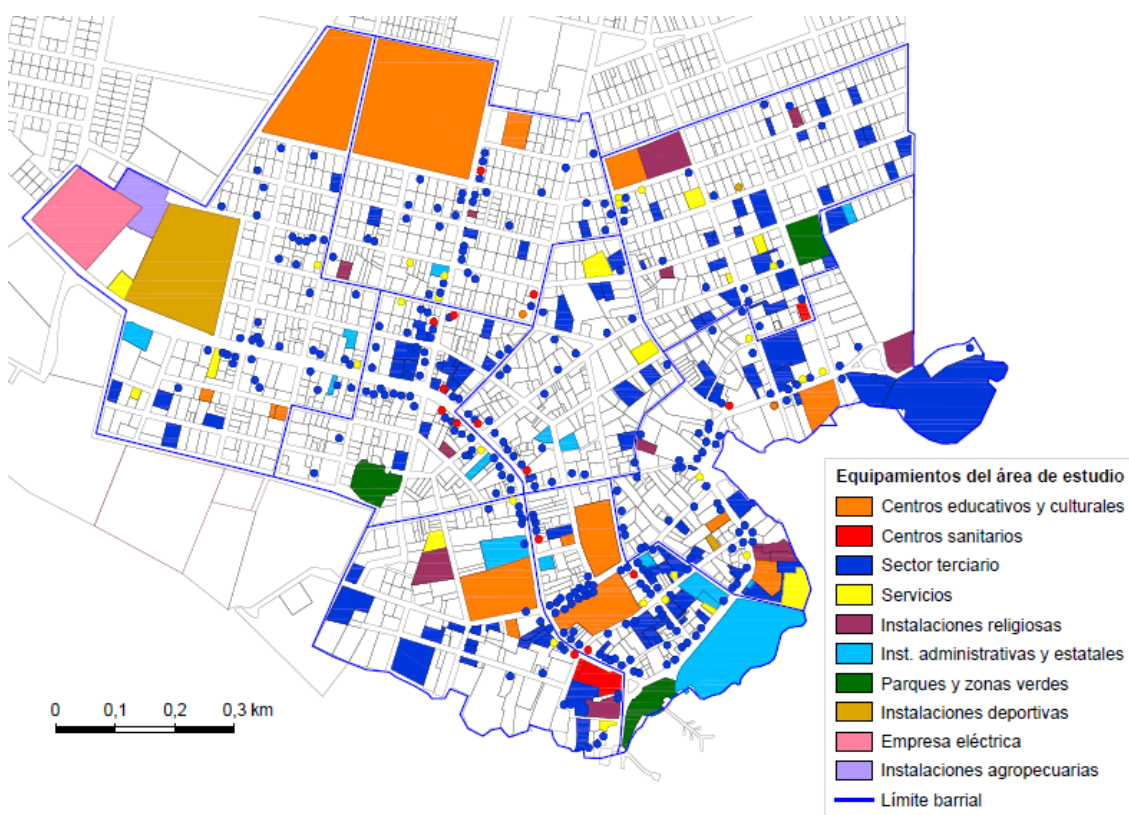


Figura 28. Localización de los equipamientos de Puerto Ayora

Fuente: elaboración propia a partir de GADMSC (2012) y Visor Cartográfico de Ecuador (2020).



Este plano confirma lo expuesto anteriormente acerca de la existencia de barrios principalmente comerciales y residenciales. Se puede ver que, en las zonas ubicadas al norte de la ciudad, como *Pampas Coloradas*, *Miraflores* o *El Edén*, la presencia de servicios y comercios es escasa y muy dispersa, a excepción de la zona adyacente a la Avenida Baltra en *Pampas Coloradas*, donde sí existe una concentración más clara de locales comerciales. A pesar de esto, estas zonas se podrían calificar como principalmente residenciales.

Por otro lado, se observa que la zona comercial se extiende principalmente por los barrios de *Las Acacias* y *La Alborada*, a lo largo de la Avenida Baltra. Por tanto, esta parte de dichos barrios se podría considerar meramente comercial, aunque en otros puntos más alejados de Avenida Baltra, la presencia de comercio y servicios disminuye notablemente. Por ello, la zona sur de *La Alborada* y las zonas norte y este de *Las Acacias*, se pueden calificar como de uso residencial.

También hay fuerte presencia de comercio en los barrios *Central* y *Pelican Bay*, siguiendo la Avenida Charles Darwin. Asimismo, estos barrios también cuentan con gran número de alojamientos, empresas turísticas y locales de restauración. Además, el barrio *Central*, aglutina gran parte de los servicios públicos de la ciudad. Por ello, en el barrio *Central* destacan los usos comerciales, de servicios y turísticos, mientras que *Pelican Bay* es principalmente un barrio comercial y turístico.

En el caso de *Las Ninfas*, destaca la presencia de alojamientos y algunos servicios, mientras que el comercio es muy disperso y escaso. Por ello, esta zona se califica como principalmente residencial.

Si se analizan las zonas de encharcamiento en relación con los equipamientos de la ciudad, se puede conocer el uso de la zona exacta en la que se ubica el área de inundación, así como los equipamientos afectados por cada zona. Esto dará una idea de qué zona de inundación provoca las mayores afecciones y será uno de los factores determinantes para decidir en qué zona se debe actuar.

Para hacer más sencillo este análisis se ha elaborado el siguiente mapa, que muestra únicamente los equipamientos más próximos a cada zona de inundación y que, por tanto, son los que pueden verse afectados.

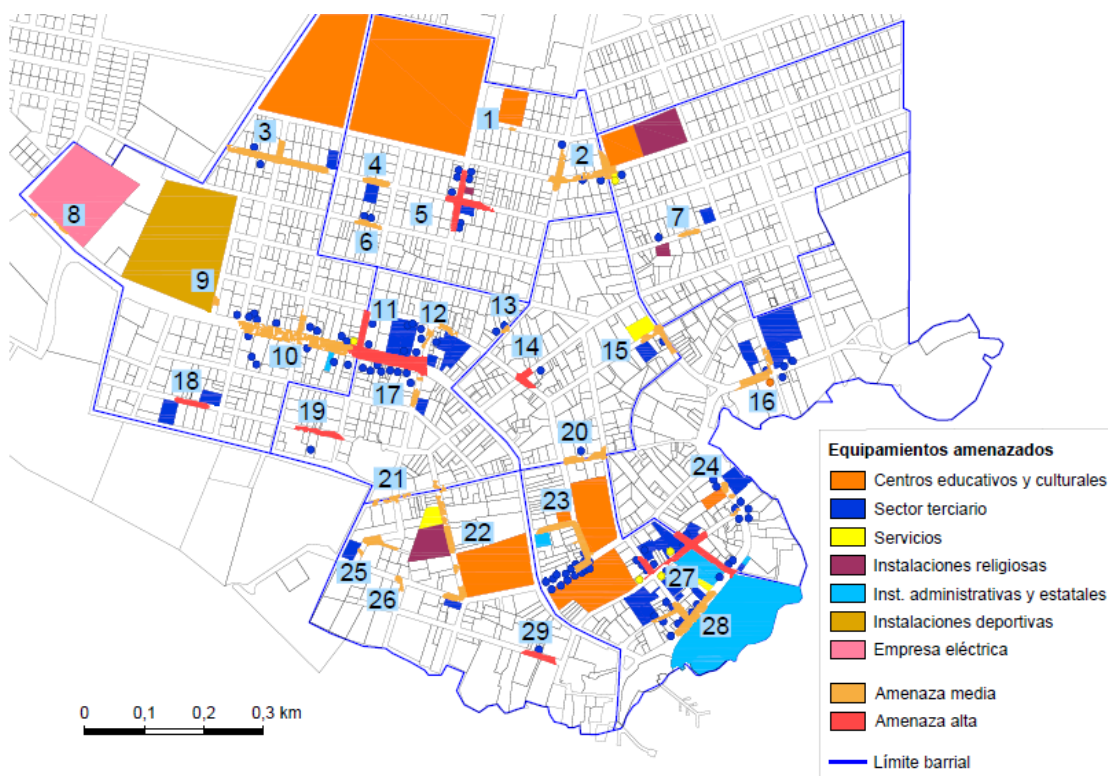


Figura 29. Distribución de los equipamientos bajo de amenaza de inundación

Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019), GADMSC (2012) y Visor Cartográfico de Ecuador (2020).

A partir de los resultados obtenidos, se ha elaborado una tabla en la que figura la localización de cada zona y el uso correspondiente a ese lugar de la ciudad.

Tabla 8. Uso suelo en zonas de encharcamiento

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Visor Cartográfico de Ecuador (2020).

Nº zona	Barrio/s afectados	Localización/es	Tipo zona
1	Miraflores	C/ Juan León Mera	Zona predominantemente <b>residencial</b> , con presencia leve de equipamientos comerciales y sociales.
2	Miraflores y El Edén	C/ San Cristóbal C/ José Joaquín de Olmedo C/ Isla Floreana	Zona <b>residencial</b> con presencia puntual de equipamientos.
3	Pampas Coloradas	C/ Isabela C/ Petrel	Zona <b>residencial</b> .
4	Miraflores	C/ Petrel	Zona <b>residencial</b> .
5	Miraflores	C/ Petrel C/ Islas Duncan	Zona predominantemente <b>residencial</b> , con presencia leve de equipamientos comerciales y sociales.
6	Miraflores	C/ Fragata	Zona <b>residencial</b> .
7	El Edén	C/ Fragata	Zona <b>residencial</b> .
8	Pampas Coloradas	Avda. Padre Julio Herrera	Zona exclusivamente de <b>servicios</b> .
9	Pampas Coloradas	C/ Bartolomé	Zona <b>residencial</b> y de <b>servicios</b> .

10	Pampas Coloradas	Avda. Baltra C/ Española	Zona <b>comercial</b> y de <b>servicios</b> .
11	Pampas Coloradas y la Alborada	Avda. Baltra C/ Genovesa	Zona <b>comercial</b> .
12	La Alborada	C/ Islas Duncan C/ General Rodríguez Lara	Zona <b>comercial</b> .
13	La Alborada y Las Acacias	C/ San Cristóbal	Zona <b>residencial</b> .
14	Las Acacias	C/ 18 de febrero C/ General Rodríguez Lara	Zona <b>residencial</b> .
15	Las Acacias, El Edén y Pelican Bay	C/ Isla Floreana C/ Cucuve	Zona <b>residencial</b> , aunque próxima a zona comercial y turística.
16	Pelican Bay	Avda. Charles Darwin Avda. Seymour	Zona <b>comercial</b> , también turística.
17	La Alborada	C/ Islas Duncan	Zona <b>comercial</b> .
18	Pampas Coloradas	C/ Albatros	Zona <b>residencial</b> .
19	La Alborada	C/ Albatros	Zona <b>residencial</b> .
20	Las Acacias y Central	C/ Indefatigable C/ Islas Plaza	Zona fundamentalmente <b>residencial</b> , cercana a zona comercial.
21	La Alborada y Las Ninfas	C/ Indefatigable	Zona <b>residencial</b> .
22	La Alborada y Las Ninfas	C/ Juan Montalvo C/ Charles Binford	Zona <b>residencial</b> , con presencia de servicios.
23	Central	C/ 10 de marzo C/ General Rodríguez Lara C/ Charles Binford	Zona <b>comercial</b> , de <b>ocio</b> y <b>servicios</b> .
24	Pelican Bay	Avda. Charles Darwin	Zona <b>comercial</b> y <b>turística</b> .
25	Las Ninfas	C/ Islas Duncan	Zona <b>residencial</b> .
26	Las Ninfas	C/ Charles Binford C/ Las Ninfas	Zona <b>residencial</b> .
27	Central y Pelican Bay	C/ Tomás de Berlanga C/ Islas Plaza C/ 12 de febrero Avda. Charles Darwin	Zona <b>comercial</b> y de <b>servicios</b> .
28	Central	Avda. Charles Darwin C/ Islas Plaza C/ Enrique Fuentes	Zona <b>comercial</b> y de <b>servicios</b> .
29	Las Ninfas	C/ Moisés Brito	Zona principalmente <b>residencial</b> .

En cuanto a las amenazas a equipamientos derivadas de la inundabilidad, se ha hecho una distinción entre directas e indirectas. Se considerará directa en caso de que el equipamiento se encuentre dentro de la zona marcada como de amenaza y, por tanto, no pueda desarrollar su función habitual al estar las instalaciones afectadas. Por otro lado, se considerarán amenazas indirectas, aquellos casos en los que el equipamiento, a pesar de no estar en zona de peligro, pueda ver modificado su funcionamiento normal, por ejemplo, por un corte de calle que provoque el bloqueo del acceso a lugar.

A continuación, se puede ver la tabla con los resultados obtenidos.

*Tabla 9. Amenaza a equipamientos por zona inundable*

*Fuente: elaboración propia a partir de GADMSC (2012) y Visor Cartográfico de Ecuador (2020).*

Nº zona	Nivel de amenaza	Equipamientos	
		Afecciones directas	Afecciones indirectas
1	MEDIO	Centro educativo "Los Pingüinitos".	Centro educativo próximo cuyos accesos pueden verse afectados (Colegio Nacional Galápagos).
2	MEDIO	Instalaciones del Colegio UEFSFA San Francisco de Asís, correos, tiendas de alimentación, bar y comercio (zapatería).	Iglesia Católica de la Santa Cruz de El Edén, comercio (moda) y restaurante.
3	MEDIO	Comercio (mueblería), supermercado y Hostal "La Mirada del Solitario George".	Comercios y centro educativo Miguel Ángel Cazares.
4	MEDIO	Alojamiento turístico.	Supermercado, centro educativo Colegio Nacional Galápagos.
5	ALTO	Taller mecánico, tiendas de alimentación (panadería, confitería, carnicería, supermercado), alojamiento turístico, empresa de transporte turístico "Ecogal", Iglesia IURD, comercio (tecnología) y entidad financiera.	Comercio, hostelería y alojamiento turístico.
6	MEDIO	Tiendas de alimentación.	
7	MEDIO		Comercio (tienda de deporte), centro religioso "Palabra Miel", alojamiento "Hotel Galápagos Paradise".
8	MEDIO	Planta eléctrica "ELEGALÁPAGOS".	
9	MEDIO	Estadio Pampas Coloradas y piscinas.	
10	MEDIO	Supermercados, clínica veterinaria, establecimientos de hostelería (restaurante "Finca", heladería y bar), comercio (tienda de juguetes), Fiscalía de Santa Cruz, Banco Nacional de Fomento, aparcamiento público y pub "Lizard".	Banco Pichincha.
11	ALTO	Comercios (lavanderías y Comercial Galápagos), tiendas de alimentación (supermercados, panadería), Mercado Municipal de Puerto Ayora, entidad financiera CoAC Nativa, pub y restaurantes.	
12	MEDIO	Comercial Galápagos, tienda de alimentación, entidad financiera Rhumywará.	Entidad financiera Coopccp y alojamiento turístico.
13	MEDIO	Comercio (lavandería).	Comercio (lavandería).
14	ALTO	Comercio (lavandería).	
15	MEDIO	Instalaciones de telecomunicaciones, cafetería y alojamiento turismo.	
16	MEDIO	Alojamiento turístico "Silberstein", restaurante "El Muelle de Darwin" y comercio "Galería Aymara".	Ferretería "Bodega Blanca" y cafetería.

17	MEDIO	Alojamiento "North Seymour" y restaurante.	
18	ALTO	Alojamientos turísticos.	
19	ALTO	Comercio.	
20	MEDIO	Restaurante "Picantería el Duro".	
21	MEDIO		
22	MEDIO	Centro religioso LDS Santa Cruz, instalación servicios, Escuela San Francisco y alojamiento turístico "Crossman".	
23	MEDIO	Zona de restauración y centros educativos (Escuela Galo Plaza Laso y Runakunapak Yachay).	
24	MEDIO	Local de restauración "Isla Grill", alojamiento "Sol y Mar", empresa turística y MAPRAE (Museo de Arte Precolombino en Realidad Aumentada de Ecuador).	Restaurantes.
25	MEDIO	Alojamientos turísticos.	
26	MEDIO		Alojamientos y comercios cercanos.
27	ALTO	Varios alojamientos para turismo, empresas turísticas, restaurante, tienda de alimentación y Alcaldía del Gobierno Municipal de Santa Cruz.	
28	MEDIO	Comercio (lavandería), restaurantes, empresas turísticas (tienda de souvenirs), alojamientos "Marysol", "Elizabeth" y "Brattle" y Armada de Santa Cruz.	Alojamientos turísticos y restaurantes.
29	ALTO	Empresa turística.	

Como se puede ver, prácticamente en todos los casos hay afección a comercios, tiendas de alimentación o incluso a alojamientos. No obstante, desde el punto de vista de los equipamientos afectados, destacan las zonas 10, 11, 23, 27 y 28.

Las zonas 10 y 11 se ubican en Avenida Baltra y ambas cuentan con una alta concentración de establecimientos comerciales y hosteleros que pueden verse perjudicados. Además, en la zona 10 se encuentran la Fiscalía de Santa Cruz y el Banco Nacional de Fomento, y en la 11, el centro comercial "Comercial Galápagos" y el Mercado Municipal de Puerto Ayora, siendo todos ellos equipamientos relevantes de la ciudad.

La zona 23, ubicada en el barrio *Central*, cuenta con una importante zona de ocio, con gran número de restaurantes, así como dos centros educativos (Escuela Galo Plaza Laso y Runakunapak Yachay). Por su parte, las zonas 27 y 28, presentan gran número de alojamientos, empresas turísticas y establecimientos de hostelería y, por ello, los efectos de un posible encharcamiento podrían ser importantes. Además, la Armada de Santa Cruz, contingente militar dentro del área urbana, se encuentra próxima a la zona de inundación 28.

También es reseñable el caso de las zonas 2, 5, 12 y 24, aunque las consecuencias de los encharcamientos sobre los equipamientos de estos lugares serían menores. En estas áreas se encuentran colegios, iglesias, entidades financieras e incluso museos, además de comercio y hostelería.

Desde el punto de vista de los barrios de estudio, los equipamientos presentes son:

Tabla 10. Amenaza a equipamientos por barrios

Fuente: elaboración propia a partir de GADMSC (2012) y Visor Cartográfico de Ecuador (2020).

Barrio	Equipamientos	
	Afecciones directas	Afecciones indirectas
Pampas Coloradas	Comercios (mueblería y tienda de juguetes), supermercados, Hostal “La Mirada del Solitario George”, planta eléctrica “ELEGALÁPAGOS”, estadio Pampas Coloradas, piscinas, clínica veterinaria, establecimientos hostelería, Fiscalía de Santa Cruz, Banco Nacional de Fomento, aparcamiento público, pub “Lizard”.	Comercio, centro educativo Miguel Ángel Cazares, Banco Pichincha.
Miraflores	Centro educativo “Los Pingüinitos”, tiendas de alimentación (panadería, confitería, carnicería y supermercado), comercio (zapatería), bar, alojamientos turísticos, taller mecánico, empresa de transporte turístico, Iglesia IURD, tienda tecnología, entidad financiera.	Colegio Nacional Galápagos, comercio (moda), establecimientos hosteleros, supermercado, alojamiento turístico, comercios
El Edén	Colegio UEFSA San Francisco de Asís.	Iglesia Católica de la Santa Cruz de El Edén, tienda de deporte, centro religioso “Palabra Miel” y alojamiento “Hotel Galápagos Paradise”.
Las Acacias	Comercio (lavandería), instalación de telecomunicaciones, cafetería, alojamiento turístico y restaurante “Picantería el Duro”.	
La Alborada	Comercios (lavanderías y Comercial Galápagos), tiendas de alimentación (supermercados, panadería), Mercado Municipal de Puerto Ayora, entidades financieras (CoAC Nativa y Rhumywar), pub, restaurantes, alojamiento “North Seymour”.	Entidad financiera Coopccp, alojamiento turístico, lavandería.
Central	Zona de restauración, centros educativos (Escuela Galo Plaza Laso y Runakunapak Yachay), alojamientos turísticos (“Marysol”, “Elizabeth” y Brattle”), Armada de Santa Cruz, Alcaldía del Gobierno Municipal de Santa Cruz, tienda de alimentación, empresas turísticas y comercio (lavandería).	Alojamientos y restaurantes.
Las Ninfas	Centro religioso LDS Santa Cruz, instalación servicios, Escuela San Francisco, alojamiento turístico “Crossman” y empresa turística.	Alojamientos turísticos y comercios.
Pelican Bay	Alojamientos turísticos “Silberstein”, “Sol y Mar”, restaurantes “El Muelle de Darwin”, “Isla Grill”, comercio “Galería Aymara”, empresa turística y MAPRAE (Museo de Arte Precolombino en Realidad Aumentada de Ecuador).	Ferretería “Bodega Blanca”, cafetería y restaurantes.

Se puede ver que los barrios *Central*, *La Alborada* y *Pelican Bay* tienen la mayor concentración de equipamientos, presentando además servicios de alta relevancia para la ciudad, como el Ayuntamiento, el Mercado Municipal, la Armada o la Fiscalía de Santa Cruz.

### 7.1.3 Amenaza sobre la población

Puesto que el sector turístico tiene una gran importancia en la ciudad de Puerto Ayora, el cálculo de la población afectada por encharcamientos debe concentrar tanto a la población que reside permanentemente en la ciudad, como a la que se hospeda en los numerosos alojamientos repartidos por la zona de estudio.



### 7.1.3.1 Amenaza sobre población residente en Puerto Ayora

Habiendo determinado qué parcelas corresponden a los equipamientos de la ciudad y la localización de las parcelas no edificadas, se puede asumir que las demás parcelas son de uso residencial. Por ello, conociendo los datos de densidad de población, se puede conocer la población que se vería afectada por encharcamientos en la zona de estudio.

Para ello, se mide el área de las parcelas residenciales que se encuentran alrededor de cada zona de encharcamiento, y aplicando el dato de la densidad de población, se puede conocer la población afectada por cada zona de inundación. Además, con estos resultados, se podrá saber qué barrio sería el más afectado en términos de población.

A continuación, se recogen las densidades de población de cada barrio, dato de partida para el cálculo:

Tabla 11. Densidad de población (hab/ha) de los barrios estudiados  
Fuente: GADMSC (2012).

Barrio	Densidad de población (hab/ha)
Pampas Coloradas	49,92
Miraflores	94,83
El Edén	52,94
Las Acacias	74,35
La Alborada	105,73
Central	34,38
Las Ninfas	30,14
Pelican Bay	19,71

En la siguiente tabla se puede ver el número total de habitantes afectados por cada superficie de encharcamiento. Se exponen el número de parcelas residenciales afectadas por barrio y zona de inundación, el área combinada de dichas parcelas y finalmente, el número de habitantes afectados por superficie de inundación y barrio, así como el número total de habitantes afectados por zona de encharcamiento.

Tabla 12. Población residente afectada por zona de inundación  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de GADMSC (2012).

Nº zona	Nivel de amenaza	Barrios afectados	Nº parcelas residenciales afectadas	Área de las parcelas (m²)	Nº habitantes afectados / barrio	Nº habitantes afectados
1	MEDIO	Miraflores	2	916,90	9	9
2	MEDIO	Miraflores	13	5978,30	57	60
		El Edén	1	403,06	3	
3	MEDIO	Pampas Coloradas	18	7057,09	36	36
4	MEDIO	Miraflores	4	1628,50	16	16
5	ALTO	Miraflores	13	3718,74	36	36
6	MEDIO	Miraflores	6	1183,04	12	12
7	MEDIO	El Edén	2	1263,31	7	7

8	MEDIO	Pampas Coloradas	0	0,00	0	0
9	MEDIO	Pampas Coloradas	0	0,00	0	0
10	MEDIO	Pampas Coloradas	22	11925,94	60	60
11	ALTO	Pampas Coloradas	5	1467,94	8	70
		La Alborada	13	5835,05	62	
12	MEDIO	La Alborada	7	2425,50	26	26
13	MEDIO	La Alborada	2	641,58	7	10
		Las Acacias	1	397,81	3	
14	ALTO	Las Acacias	6	2135,21	16	16
15	MEDIO	Las Acacias	5	1204,95	9	15
		Pelican Bay	5	1306,00	3	
		El Edén	1	540,30	3	
16	MEDIO	Pelican Bay	6	7162,75	15	15
17	MEDIO	La Alborada	5	2407,71	26	26
18	ALTO	Pampas Coloradas	7	3362,64	17	17
19	ALTO	La Alborada	10	5385,26	57	57
20	MEDIO	Las Acacias	3	1793,22	14	19
		Central	2	1395,00	5	
21	MEDIO	La Alborada	2	1560,77	17	24
		Las Ninfas	4	2061,36	7	
22	MEDIO	La Alborada	2	1316,24	14	30
		Las Ninfas	14	5211,62	16	
23	MEDIO	Central	13	3208,63	12	12
24	MEDIO	Pelican Bay	4	2455,61	5	5
25	MEDIO	Las Ninfas	3	2662,71	9	9
26	MEDIO	Las Ninfas	3	1939,54	6	6
27	ALTO	Central	9	2072,94	8	12
		Pelican Bay	5	1605,79	4	
28	MEDIO	Central	13	3166,97	11	11
29	ALTO	Las Ninfas	6	7976,44	25	25
					<b>TOTAL</b>	<b>641</b>

Se observa que el total de habitantes afectados por inundaciones en la zona de estudio asciende a 641 personas. Las zonas 10 y 11, con 60 y 70 afectados respectivamente, son las superficies que generan un mayor número de damnificados. Esto puede explicarse debido a que son las dos superficies con mayor área y por tanto pueden afectar a un mayor número de parcelas residenciales.

Asimismo, destaca que el área número 27, a pesar de ser la tercera en cuanto a superficie, afecta solamente a 12 habitantes. Esto se debe a que la zona en la que se ubica tiene un uso predominante de servicios y establecimientos dedicados al turismo, por lo que el número de parcelas residenciales que se ve afectado es escaso. Un efecto similar ocurre en el caso de las zonas 23 y 28, dedicadas a restauración y servicios respectivamente.

El área 2 suma 60 habitantes afectados, lo cual se debe a su considerable extensión, y al hecho de que los barrios de *Miraflores* y *El Edén* son principalmente residenciales, por lo que las afecciones se centran en parcelas residenciales en lugar de comercios o servicios.

También es reseñable que el área número 19, de extensión media, es la cuarta en cuanto a afección a la población, con 57 afectados. La falta de comercio y servicios en esta zona hace que las parcelas colindantes sean exclusivamente residenciales. Esto, junto con la gran densidad de población del barrio de *La Alborada*, hacen que las afecciones asciendan por encima de otras superficies de encharcamiento con mayor área y, aparentemente, más peligrosas. Este hecho también ocurre en las áreas 17 y 21, ubicadas en *La Alborada* y que, con un área relativamente pequeña, cuentan con 26 y 24 habitantes afectados cada una.

En el extremo inferior se encuentran las zonas 8 y 9, que por su ubicación no afectan a ninguna parcela residencial. El área 24, ubicada en el *Pelican Bay*, es la zona de inundación que menos habitantes afecta, únicamente cinco.

Tras conocer cuántos habitantes se pueden ver afectados por zona de inundación y barrio, se puede conocer el número total de posibles damnificados por barrio y el porcentaje que esto supone respecto a la población total del mismo. El dato de población total se ha calculado conociendo el área de los barrios (extraído de Tabla 7) y la densidad de población de cada uno (extraído de Tabla 11).

Tabla 13. Población total residente en cada barrio  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de GADMSC (2012).

Barrio	Área total barrio (m <sup>2</sup> )	Densidad de población (hab/ha)	Población total del barrio
<b>Pampas Coloradas</b>	231846,80	49,92	1158
<b>Miraflores</b>	155418,62	94,83	1474
<b>El Edén</b>	153149,82	52,94	811
<b>Las Acacias</b>	92704,86	74,35	690
<b>La Alborada</b>	95811,70	105,73	1014
<b>Central</b>	94309,24	34,38	325
<b>Las Ninfas</b>	127518,18	30,14	385
<b>Pelican Bay</b>	180799,45	19,71	357

A partir de estos datos se puede obtener el porcentaje de población afectada respecto al total.

Tabla 14. Número total de residentes afectados por barrio

Fuente: elaboración propia.

Barrio	Afectados bajo amenaza media	Afectados bajo amenaza alta	Afectados totales	% de la población total
Pampas Coloradas	96	25	121	10,45
Miraflores	94	36	130	8,82
El Edén	13	0	13	1,60
Las Acacias	26	16	42	6,09
La Alborada	90	119	209	20,61
Central	28	8	36	11,08
Las Ninfas	38	25	63	16,36
Pelican Bay	23	4	27	7,56
<b>TOTAL</b>	<b>408</b>	<b>233</b>	<b>641</b>	<b>100</b>

El barrio más afectado sería *La Alborada*, con 209 habitantes, lo que supone un 20,61% de la población total del barrio. Esto se debe a que, en esta zona, la superficie afectada por inundaciones según el mapa de inundabilidad es grande (ver Tabla 7), a lo que hay que sumar que *La Alborada* tiene la densidad de población más alta de los barrios estudiados. En *Miraflores* ocurre algo similar, de manera que es el segundo barrio más afectado, con 130 habitantes amenazados.

En el caso de *Pampas Coloradas*, a pesar de que la densidad de población del barrio es baja, la superficie inundable es muy extensa, lo que hace que sea el tercer barrio con más habitantes bajo amenaza (121). En *Las Acacias*, con 42 habitantes afectados, ocurre lo contrario, aunque el área de encharcamiento es baja, la densidad de población es de las más elevadas, lo que permite llegar a ese nivel de afección.

En el caso de *Las Ninfas*, el número de habitantes afectados es 63, lo que implica el 16,36% de la población del barrio, un valor relativamente alto si se tiene en cuenta la baja densidad de población de la zona y la poca extensión de las superficies de encharcamiento. Esto se debe a que las zonas inundables afectan exclusivamente a zonas residenciales en las que apenas existe comercio o servicios. Por el contrario, en el caso del barrio *Central*, la afección a la población es pequeña, únicamente 36 habitantes, debido la escasez de parcelas residenciales alrededor de las zonas de encharcamiento identificadas.

Los barrios de *Pelican Bay* y *El Edén* presentan el menor número de afectados, con 27 y 13 respectivamente. Esto se debe, en el caso de *Pelican Bay*, a que el área inundable es pequeña y la densidad de población, la más baja de la zona estudiada; *El Edén*, por su parte, a pesar de ser un barrio principalmente residencial, presenta poca superficie de encharcamiento, lo que repercute en el número total de habitantes afectados, solamente un 1,60% de su población total.

Finalmente, se puede ver que el 63,65% de los afectados se encuentran bajo amenaza de inundación media (408 personas), mientras que el 36,35% reside en zonas de amenaza alta (233 personas).

### 7.1.3.2 Amenaza sobre los alojamientos turísticos

Según las Estadísticas de Turismo de Galápagos de 2018 elaboradas por el Observatorio de Turismo de Galápagos en colaboración con el Ministerio de Turismo, el número de alojamientos turísticos existentes en la provincia es de 317. Además, existen 3051 habitaciones, lo que suponen 6822 camas. Por lo tanto, el número medio de camas por alojamiento es de 21,52. Asimismo, en esta misma publicación, se ha determinado que la ocupación media de los alojamientos turísticos de Galápagos es del 32%, calculado en función de su capacidad total, la estancia media de los clientes (4 noches) y el número de turistas llegados a las islas en el año 2018 (alrededor de 180 mil).

A partir de datos del Visor Cartográfico de Ecuador (2020), se han podido localizar los alojamientos turísticos ubicados en la zona de estudio, repartidos tal como se muestra en la siguiente figura. En el mapa también se representan las zonas inundables, de manera que se pueda determinar qué alojamientos turísticos están bajo amenaza de inundación y estimar la población que se vería afectada.

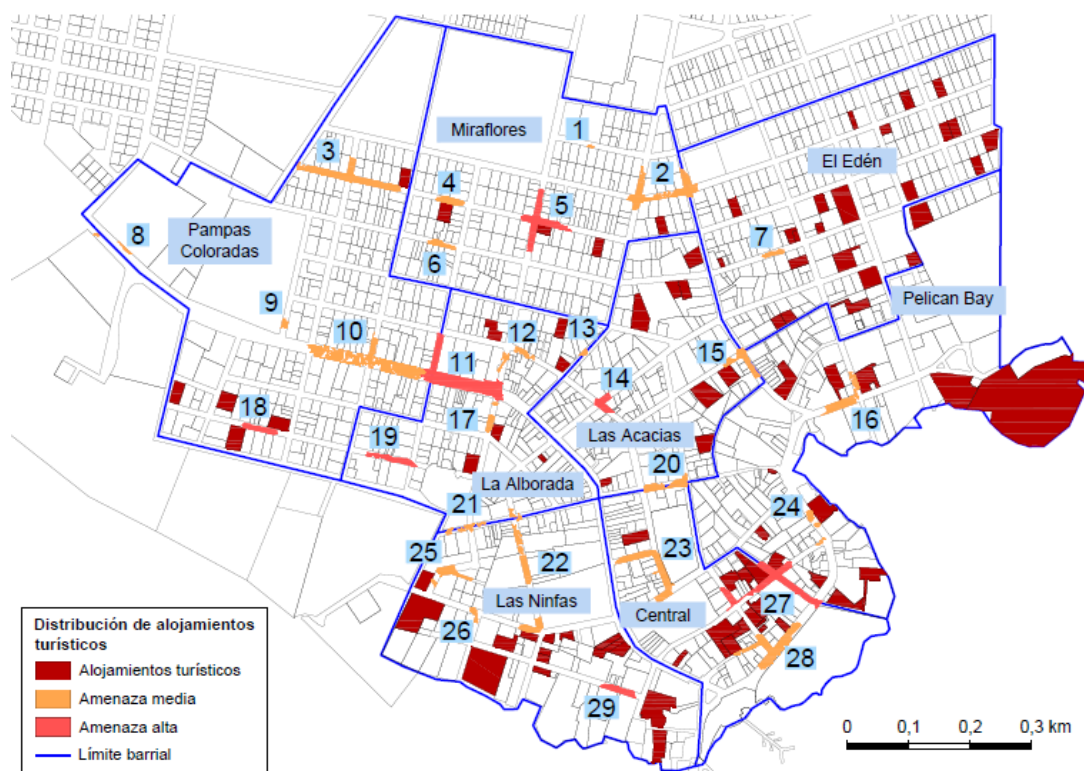


Figura 30. Distribución de alojamientos turísticos en el área de estudio  
Fuente: elaboración propia a partir de Visor Cartográfico de Ecuador (2020).

A partir de los datos de este mapa, se han contabilizado 87 alojamientos turísticos en el área de estudio. Sabiendo que, de media, existen 21,52 camas por alojamiento, 87 alojamientos equivalen a 1873 camas. Este valor corresponde a la población que potencialmente estaría afectada por encharcamiento en el área de estudio. La siguiente tabla muestra la distribución de esos resultados en barrios. Se presenta el número de alojamientos turísticos por barrio, el número de camas a los que equivalen y la población potencialmente afectada teniendo en cuenta una ocupación del 32%.

Tabla 15. Número de plazas de alojamiento por barrio

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Observatorio de Turismo de Galápagos (2019) y del Visor Cartográfico de Ecuador (2020).

Barrio	Nº total de alojamientos turísticos	Nº total de camas	Nº camas (32% de ocupación)
Pampas Coloradas	5	108	35
Miraflores	4	87	28
El Edén	23	495	159
Las Acacias	8	173	56
La Alborada	6	130	42
Central	13	280	90
Las Ninfas	15	323	104
Pelican Bay	13	280	90
<b>TOTAL</b>	<b>87</b>	<b>1876</b>	<b>601</b>

La siguiente tabla muestra el número de alojamientos turísticos y población que estarían afectados por cada superficie de encharcamiento.

Tabla 16. Población amenazada en alojamientos turísticos por zona de inundación

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Observatorio de Turismo de Galápagos (2018) y del Visor Cartográfico de Ecuador (2020).

Nº zona	Nivel de amenaza	Barrios afectados	Nº alojamientos turísticos afectados / barrio	Población afectada / barrio (32% ocupación)	Población afectada (con 32% ocupación)
1	MEDIO	Miraflores	0	0	0
2	MEDIO	Miraflores	0	0	0
		El Edén	0	0	
3	MEDIO	Pampas Coloradas	1	7	7
4	MEDIO	Miraflores	1	7	7
5	ALTO	Miraflores	2	14	14
6	MEDIO	Miraflores	0	0	0
7	MEDIO	El Edén	2	14	14
8	MEDIO	Pampas Coloradas	0	0	0
9	MEDIO	Pampas Coloradas	0	0	0
10	MEDIO	Pampas Coloradas	0	0	0
11	ALTO	Pampas Coloradas	0	0	0
		La Alborada	0	0	
12	MEDIO	La Alborada	1	7	7
13	MEDIO	La Alborada	0	0	0
		Las Acacias	0	0	
14	ALTO	Las Acacias	0	0	0
15	MEDIO	Las Acacias	1	7	7
		Pelican Bay	0	0	



		El Edén	0	0	
16	MEDIO	Pelican Bay	2	14	14
17	MEDIO	La Alborada	1	7	7
18	ALTO	Pampas Coloradas	2	14	14
19	ALTO	La Alborada	0	0	0
20	MEDIO	Las Acacias	0	0	0
		Central	0	0	
21	MEDIO	La Alborada	0	0	0
		Las Ninfas	0	0	
22	MEDIO	La Alborada	0	0	14
		Las Ninfas	2	14	
23	MEDIO	Central	0	0	0
24	MEDIO	Pelican Bay	1	7	7
25	MEDIO	Las Ninfas	1	7	7
26	MEDIO	Las Ninfas	0	0	0
27	ALTO	Central	4	28	42
		Pelican Bay	2	14	
28	MEDIO	Central	4	28	28
29	ALTO	Las Ninfas	0	0	0
		<b>TOTAL</b>	<b>27</b>		<b>189</b>

El total de alojamientos turísticos afectados es de 27 unidades en toda el área de estudio, lo que supone amenaza para 189 personas, de las que un 62,96% se encuentra en zona de amenaza media (119 personas) y un 37,04% en zona de amenaza alta (70 personas).

Como es lógico, las zonas más afectadas son 27 y 28, con 42 y 28 personas alojadas respectivamente. Esto se debe a que estas zonas se encuentran en los barrios *Central* y *Pelican Bay*, donde destaca la presencia de servicios turísticos sobre los demás equipamientos. Asimismo, existen varias zonas, especialmente al norte de la ciudad, donde la afección a alojamientos turísticos es nula, debido a su ubicación en zonas predominantemente residenciales, donde apenas existe turismo.

Para hacer más sencilla la visualización de los resultados por barrios, se ha elaborado la siguiente tabla, en la que se puede ver el número total de afectados por barrio, así como el número de afectados por amenaza media y alta que presenta cada uno.

Tabla 17. Población amenazada en alojamientos turísticos por barrio

Fuente: elaboración propia.

Barrio	Afectados bajo amenaza media	Afectados bajo amenaza alta	Afectados totales
Pampas Coloradas	7	14	21
Miraflores	7	14	21
El Edén	14	0	14
Las Acacias	7	0	7
La Alborada	14	0	14
Central	35	28	63
Las Ninfas	14	0	14
Pelican Bay	21	14	35
<b>TOTAL</b>	<b>119</b>	<b>70</b>	<b>189</b>

En el análisis de amenaza a alojamientos turísticos, se puede ver que los resultados son opuestos a los obtenidos para la población residente en Puerto Ayora. En el caso de la población residente de forma permanente, las mayores afecciones se concentraban en los barrios residenciales del norte y oeste de la ciudad (*Pampas Coloradas, Miraflores y La Alborada*) por su alta densidad de población y escasa presencia de servicios y equipamientos. No obstante, en el caso del análisis de alojamientos, las mayores afecciones tienen lugar en los barrios del sur (*Central y Pelican Bay*), donde se concentran la mayor parte de los servicios turísticos de la ciudad.

### 7.1.3.3 Resultados de población amenazada por encharcamientos

La siguiente tabla muestra el total de afectados, tanto residentes en la zona de estudio, como alojados en establecimientos hoteleros.

Tabla 18. Población total amenazada por zona de inundación  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Nº residentes afectados	Nº alojados afectados	Nº afectados totales
1	9	0	9
2	60	0	60
3	36	7	43
4	16	7	23
5	36	14	50
6	12	0	12
7	7	14	21
8	0	0	0
9	0	0	0
10	60	0	60
11	70	0	70
12	26	7	33
13	10	0	10
14	16	0	16
15	15	7	22
16	15	14	29
17	26	7	33
18	17	14	31
19	57	0	57
20	19	0	19
21	24	0	24
22	30	14	44
23	12	0	12
24	5	7	12
25	9	7	16
26	6	0	6
27	12	42	54
28	11	28	39
29	25	0	25
<b>TOTAL</b>	<b>641</b>	<b>189</b>	<b>830</b>

Se puede ver que, del total de afectados (830 personas), 641 corresponden a población permanente de la ciudad (77,23%) y 189 son personas alojadas en hoteles (22,77%). Se observa que la población situada próxima a las zonas 10, 11, 2 y 19 sigue siendo la más amenazada a pesar de que no hay afección a alojamientos turísticos.

A continuación, se pueden ver los resultados conjuntos por barrios.

Tabla 19. Amenaza total a la población por barrio y nivel de amenaza  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Afectados (amenaza media)			Afectados (amenaza alta)			Afectados totales		
	Resid.	Aloj. turismo	Tot.	Resid.	Aloj. turismo	Tot.	Resid.	Aloj. turismo	Tot.
Pampas Coloradas	96	7	103	25	14	39	121	21	142
Miraflores	94	7	101	36	14	50	130	21	151
El Edén	13	14	27	0	0	0	13	14	27
Las Acacias	26	7	33	16	0	16	42	7	49
La Alborada	90	14	104	119	0	119	209	14	223
Central	28	35	63	8	28	36	36	63	99
Las Ninfas	38	14	52	25	0	25	63	14	77
Pelican Bay	23	21	44	4	14	18	27	35	62
<b>TOTAL</b>	<b>527</b>			<b>303</b>			<b>830</b>		

De los 830 posibles afectados por inundación, un 63,49% se ubican en zonas de amenaza media (527 personas) y 36,51% en zonas con amenaza alta (303). De esta manera, se observa el mantenimiento de la tendencia de aproximadamente dos tercios de amenaza media y un tercio de amenaza alta que ya que había podido verse en otras fases del análisis.

Una vez sumados los datos de afección a residentes y alojamientos turísticos para el caso de nivel de amenaza media, se puede ver que los barrios de *La Alborada*, *Pampas Coloradas* y *Miraflores* tienen una afección muy similar (104, 103 y 101 personas respectivamente). En el caso de la amenaza alta, destaca *La Alborada*, con 119 casos, muy por encima del resto de barrios. Esto convierte al barrio de *La Alborada* en el más afectado del área de estudio en términos absolutos, con 223 personas amenazadas por inundación. Le siguen *Miraflores* y *Pampas Coloradas*, con 151 y 142 afectados respectivamente.

En prácticamente todos los barrios, es mayor la afección a parcelas residenciales que a alojamientos turísticos. No obstante, destaca el caso de *Central* y *Pelican Bay*, en los que buena parte de su afección se debe a las amenazas sobre establecimientos de este tipo.

Finalmente, si se toman los datos de población total residente en cada barrio (extraído de Tabla 13) y la población total alojada en hoteles (extraído Tabla 15), se puede saber una estimación de la población total del área de estudio. Posteriormente, se puede calcular una estimación del porcentaje de la población total, tanto residente en Puerto Ayora como hospedada en hoteles, que está potencialmente afectada por episodios de encharcamiento.

Tabla 20. Porcentaje de población afectada respecto al total

Fuente: elaboración propia.

Barrio	Población residente del barrio	Población alojamientos turístico (32% de ocupación)	Población total barrio	Nº total afectados	% afectados sobre la población total
Pampas Coloradas	1158	35	1193	142	<b>11,90</b>
Miraflores	1474	28	1502	151	<b>10,05</b>
El Edén	811	159	970	27	<b>2,78</b>
Las Acacias	690	56	746	49	<b>6,57</b>
La Alborada	1014	42	1056	223	<b>21,12</b>
Central	325	90	415	99	<b>23,86</b>
Las Ninfas	385	104	489	77	<b>15,75</b>
Pelican Bay	357	90	447	62	<b>13,87</b>

#### 7.1.4 Amenaza sobre la infraestructura vial

Puerto Ayora carece de sistemas adecuados para la evacuación de agua de lluvia, y por ello, varios tramos sobre cotas bajas quedan encharcados tras episodios de precipitación. Como consecuencia, a menudo se registran problemas de movilidad y tránsito en la ciudad, además de daños a viviendas (FIC, 2019).

El previsible aumento de la precipitación extrema para finales de siglo, provocará un aumento de episodios de encharcamiento y del nivel de calado del flujo sobre los viales, lo que derivará en incidencias sobre la funcionalidad de los viales, viviendas o instalaciones expuestas (FIC, 2019).

Como se ha visto a lo largo de los apartados anteriores, desde el punto de vista de los equipamientos y población amenazados, las zonas de inundación que pueden causar mayores problemas son 5, 10, 11, 23, 27 y 28. La mayoría de estas áreas se ubican en vías principales de la ciudad, como Avenida Baltra (10 y 11) o Avenida Charles Darwin (27 y 28) y debido a esto, la afección a transporte, equipamientos y actividad turística puede ser considerable.

El siguiente mapa muestra las vías más afectadas por encharcamiento en el área de estudio. Destacan Avenida Baltra, donde se encuentran las zonas de inundación 8, 10 y 11, la Avenida Charles Darwin, donde se ubican 16, 24, 27 y 28; y las calles General Rodríguez Lara (12, 14 y 23), San Cristóbal (2 y 13), Isla Floreana (2 y 15), 12 de febrero (27), Tomás de Berlanga (24 y 27) y Petrel (3, 4 y 5). Estas últimas vías se estudiarán debido a la importancia de su ubicación, como viario estructurante de la ciudad, como es el caso de Isla Floreana, Petrel o San Cristóbal, o debido a los equipamientos adyacentes, puesto que prácticamente todas ellas pertenecen a las zonas más turísticas y comerciales de la ciudad.

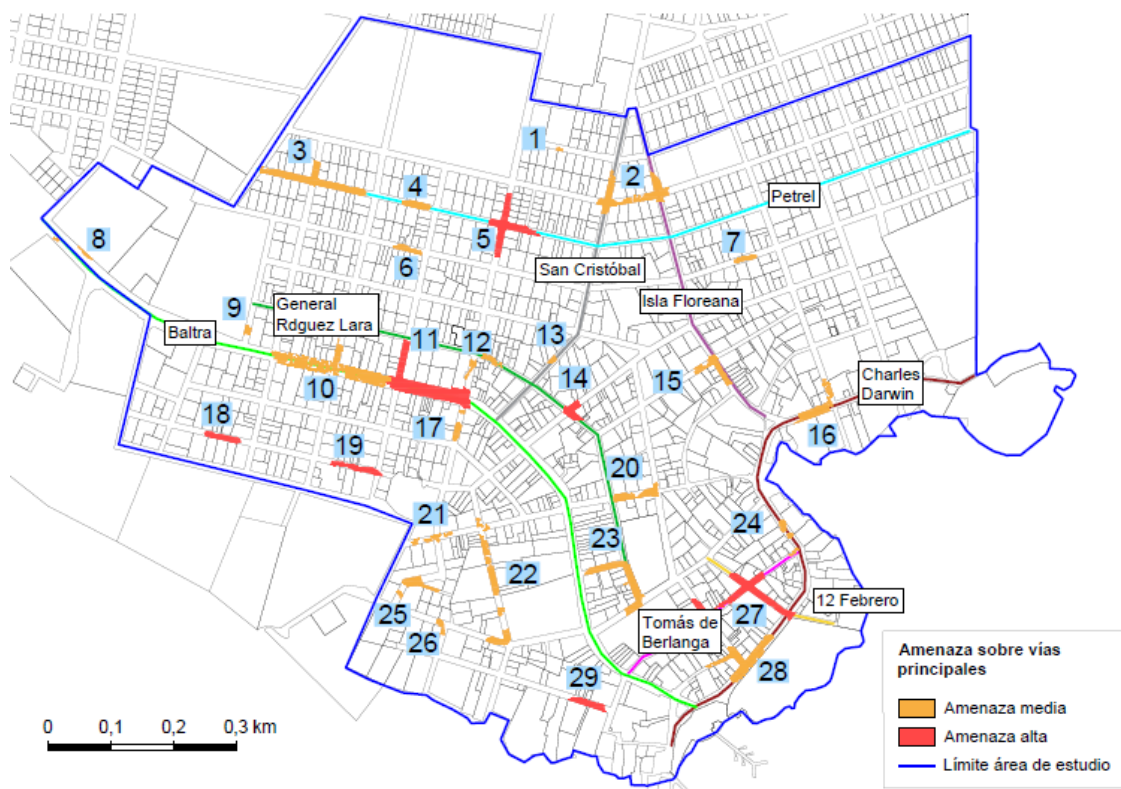


Figura 31. Vías más afectadas por encharcamiento y relación con zonas inundables  
Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra el porcentaje sobre la longitud de dichas vías que está afectado por encharcamientos. Asimismo, se ha calculado el porcentaje de la longitud que presenta amenaza media y alta.

Tabla 21. Datos vías más afectadas  
Fuente: elaboración propia.

Nombre vía	Longitud total (m)	Longitud afectada (m)	% de amenaza media	% de amenaza alta	% amenazado total
<b>Avda. Baltra</b>	1393,00	366,36	16,42	9,88	<b>26,30</b>
<b>Avda. Charles Darwin</b>	945,00	211,02	20,69	1,64	<b>22,33</b>
<b>Gral. Rodríguez Lara</b>	874,00	175,70	14,56	5,54	<b>20,10</b>
<b>San Cristóbal</b>	554,00	85,13	15,35	0,00	<b>15,37</b>
<b>Isla Floreana</b>	603,00	109,69	18,19	0,00	<b>18,19</b>
<b>12 de febrero</b>	238,00	120,61	0,00	50,68	<b>50,68</b>
<b>Tomás de Berlanga</b>	341,00	147,36	4,76	38,45	<b>43,21</b>
<b>Petrel</b>	1175,00	308,16	18,92	7,30	<b>26,23</b>

La longitud total de las vías seleccionadas para estudio es de 6,12 km, de los que 1,52 km pueden verse afectados por encharcamientos, es decir el 24,89%.

En las vías más importantes de la ciudad, Avenida Baltra y Charles Darwin, aproximadamente la cuarta parte de su longitud está amenazada por encharcamientos y, aunque la mayor parte se trata de amenaza media, sería necesario actuar para mitigar los efectos de los encharcamientos.

La calle General Rodríguez Lara, tiene un nivel de afectación similar al de las anteriores vías, y su importancia radica en que afecta tanto a zonas residenciales, con gran densidad de población, como a zonas comerciales, donde la hostelería tiene un papel importante. Isla Floreana es una de las principales vías de comunicación entre la zona costera del sur de la ciudad y los barrios del norte, es por ello, que las inundaciones pueden ser muy perjudiciales para el funcionamiento habitual de la ciudad. No obstante, el porcentaje afectado respecto a la longitud de la vía es de 18,19%, menor que en otras calles.

El caso de San Cristóbal es similar al de Isla Floreana, ya que también se trata de una vía de conexión entre el norte y el sur de la ciudad. Además, como esta calle está conectada con Baltra, sirve de enlace entre los barrios del norte y el resto de la Isla de Santa Cruz. El porcentaje de la vía bajo amenaza es muy bajo, únicamente el 15,37%.

Las calles 12 de febrero y Tomás de Berlanga son vías de corta extensión en las que la mayor parte de su longitud está afectada por encharcamientos, un 50,68% y un 43,21% respectivamente. Además, la mayoría de esta longitud es de amenaza alta. Puesto que la zona en la que se ubican (barrios *Central* y *Pelican Bay*) está dedicada fundamentalmente a servicios, tanto la actividad turística, como el uso de ciertos equipamientos básicos se podrían ver dañados.

La calle Petrel está amenazada por encharcamiento a su paso por los barrios de *Pampas Coloradas* y *Miraflores*, y aunque la presencia de equipamientos o servicios turísticos es muy escasa, la cantidad de viviendas afectadas podría ser importante, siendo estos dos barrios principalmente residenciales.

Si se agrupan los resultados de cada calle en función del barrio en el que se encuentran, se puede conocer qué barrio es el más amenazado en cuanto a las vías principales que discurren por él. Estos resultados se observan en la siguiente tabla.

Tabla 22. Amenaza al viario principal por barrios  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Vía	Long. vía principal en barrio (m)	Long. afectada amenaza media (m)	Longitud afectada amenaza alta (m)	Longitud total afectada (m)	Porcentaje afectado (%)
Pampas Coloradas	Avda. Baltra	643,00	228,67	18,68	247,35	38,47
	Gral. Rguez. Lara	252,00	0,00	6,01	6,01	2,38
	Petrel	189,00	176,00	0,00	176,00	93,12
	<b>TOTAL</b>	<b>1084,00</b>	<b>404,67</b>	<b>24,69</b>	<b>429,36</b>	<b>39,61</b>
Miraflores	Isla Floreana	213,00	51,83	0,00	51,83	24,33
	San Cristóbal	363,00	71,46	0,00	71,46	19,69
	Petrel	483,00	46,36	85,80	132,16	27,36
	<b>TOTAL</b>	<b>1059,00</b>	<b>169,65</b>	<b>85,80</b>	<b>255,45</b>	<b>24,12</b>
El Edén	Petrel	503,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Isla Floreana	345,00	51,83	0,00	51,83	15,02
	<b>TOTAL</b>	<b>848,00</b>	<b>51,83</b>	<b>0,00</b>	<b>51,83</b>	<b>6,11</b>
Las Acacias	Avda. Baltra	189,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Gral. Rguez. Lara	230,00	5,47	36,44	41,91	18,22
	Isla Floreana	271,00	57,86	0,00	57,86	21,35
	Petrel	109,00	0,00	0,00	0,00	0,00



	San Cristóbal	331,00	13,67	0,00	13,67	4,13
	<b>TOTAL</b>	<b>1130,00</b>	<b>77,00</b>	<b>36,44</b>	<b>113,44</b>	<b>10,04</b>
<b>La Alborada</b>	Avda. Baltra	357,00	0,00	119,01	119,01	33,34
	Gral. Rguez. Lara	211,00	38,40	6,01	44,41	21,05
	San Cristóbal	191,00	13,67	0,00	13,67	7,16
	<b>TOTAL</b>	<b>759,00</b>	<b>52,07</b>	<b>125,02</b>	<b>177,09</b>	<b>23,33</b>
<b>Central</b>	Avda. Baltra	393,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Adva. Charles Darwin	225,00	97,49	7,74	105,23	46,77
	Gral. Rguez. Lara	181,00	83,38	0,00	83,38	46,07
	Tomás de Berlanga	243,00	0,00	99,15	99,15	40,80
	12 de febrero	238,00	0,00	120,61	120,61	50,68
	<b>TOTAL</b>	<b>1280,00</b>	<b>180,87</b>	<b>227,50</b>	<b>408,37</b>	<b>31,90</b>
<b>Las Ninfas</b>	Avda. Baltra	393,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL</b>	<b>393,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Pelican Bay</b>	Adva. Charles Darwin	720,00	98,05	7,74	105,79	14,69
	Isla Floreana	153,00	57,86	0,00	57,86	37,82
	Tomás de Berlanga	98,00	16,24	31,97	48,21	49,19
	12 de Febrero	238,00	0,00	120,61	120,61	50,68
	<b>TOTAL</b>	<b>1209,00</b>	<b>172,15</b>	<b>160,32</b>	<b>332,47</b>	<b>27,50</b>

El barrio que presenta mayor amenaza es *Pampas Coloradas*, con un 39,61% de la longitud de las vías principales que pasan por él, seguido de *Central* (31,90%) y *Pelican Bay* (27,50%). Se puede observar que, de todas ellas, las vías principales más importantes, como Avenida Baltra y Charles Darwin, son, por lo general, las más amenazadas.

## 7.2 Cálculo del índice de amenaza por encharcamiento

Este análisis permite cuantificar el grado de amenaza de encharcamiento sobre los barrios del área de estudio y relacionarlo con cada zona de inundación identificada. Partiendo de los datos recogidos a lo largo de los anteriores apartados, se pueden elaborar indicadores de amenaza basados en el área de encharcamiento y el volumen de agua almacenado en cada zona. Posteriormente, la combinación de estos indicadores permitirá determinar un índice de amenaza global sobre barrios y zonas, que constituirá el primer factor de determinación del riesgo.

## 7.2.1 Análisis de la amenaza de encharcamiento por barrios

### 7.2.1.1 Indicador de amenaza en función del área encharcada

Como se muestra en la Tabla 6, cada barrio presenta una superficie amenazada, suma de las áreas de las zonas de encharcamiento individuales presentes en su territorio. Estos valores pueden ser utilizados como indicador, de manera que aquellos barrios que presenten una mayor superficie de encharcamiento, estarán más amenazados.

Además, como se tienen resultados separados por nivel de amenaza, se puede ponderar el resultado final según peligrosidad. De esta manera, una amenaza alta se pondera con un factor 1,00, mientras que la amenaza media se pondera con 0,66.

Finalmente, el resultado se puede normalizar a valores entre 0 y 1 para su comparación e integración en el índice de amenaza final teniendo en cuenta los demás indicadores. La normalización del indicador  $I$  se llevará a cabo siguiendo la metodología descrita en el apartado de Metodología de evaluación del riesgo de encharcamiento, de forma que:

$$I = \frac{\text{valor observado}}{\text{peor valor}}$$

La siguiente tabla muestra estos resultados:

Tabla 23. Resultados del indicador de amenaza por área a nivel de barrio  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Área amenaza alta (m²) (1,00)	Área amenaza media (m²) (0,66)	Suma ponderada	Índice normalizado [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	1021,68	5210,43	4460,56	1,00
<b>Miraflores</b>	1614,04	2171,74	3047,39	0,68
<b>El Edén</b>	0,00	625,53	412,85	0,09
<b>Las Acacias</b>	480,83	1048,79	1173,03	0,26
<b>La Alborada</b>	3266,29	918,90	3872,76	0,87
<b>Central</b>	1457,43	3593,49	3829,13	0,86
<b>Las Ninfas</b>	487,95	2280,44	1993,04	0,45
<b>Pelican Bay</b>	736,64	1262,07	1569,61	0,35

Según este indicador, *Pampas Coloradas* es el barrio más amenazado, seguido de *La Alborada*, donde el área bajo amenaza alta es muy elevada. En el barrio *Central* también se cuantifica una amenaza de gran importancia.

### 7.2.1.2 Indicador de amenaza en función del volumen de encharcamiento

Como se ha mencionado, los datos de la Tabla 6 muestran los resultados de área encharcada para los barrios de estudio. A partir de estos resultados se puede elaborar otro indicador complementario al de área y basado en el volumen de encharcamiento.

Para ello, se asigna según criterio experto una altura de inundación a cada nivel de amenaza, de manera que una amenaza media provoque un encharcamiento de 0,25 metros, mientras que una amenaza alta cause una inundación de 0,50 metros de altura.

El índice resultante de este indicador será el producto del área de encharcamiento por la altura asignada. Finalmente, estos resultados se normalizan entre 0 y 1, al igual que en el indicador anterior.

La siguiente tabla muestra los resultados del índice de amenaza basado en el volumen de encharcamiento.

Tabla 24. Resultados del indicador de amenaza por volumen a nivel de barrio  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Área amenaza media (m <sup>2</sup> )	Área amenaza alta (m <sup>2</sup> )	Volumen encharcado (m <sup>3</sup> ) (alta – 0,5m; media – 0,25m)	Índice normalizado [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	5210,43	1021,68	1813,45	0,97
<b>Miraflores</b>	2171,74	1614,04	1349,96	0,72
<b>El Edén</b>	625,53	0,00	156,38	0,08
<b>Las Acacias</b>	1048,79	480,83	502,61	0,27
<b>La Alborada</b>	918,90	3266,29	1862,87	1,00
<b>Central</b>	3593,49	1457,43	1627,09	0,87
<b>Las Ninfas</b>	2280,44	487,95	814,09	0,44
<b>Pelican Bay</b>	1262,07	736,64	683,84	0,37

La gran superficie bajo amenaza alta que presenta *La Alborada* hace que sea el barrio más amenazado según este indicador. Asimismo, *Pampas Coloradas* ocupa la segunda posición en cuanto a amenaza debido a su gran extensión bajo amenaza media.

### 7.2.1.3 Resultados de amenaza por barrio

Si se combinan los resultados de los tres indicadores extraídos de Tabla 23 y Tabla 24, se obtiene un valor que refleja la amenaza de encharcamiento de cada barrio y que depende del área de inundación y volumen encharcado. Además, este índice será el valor final a introducir en la fórmula de cálculo del riesgo de encharcamiento por barrios.

El índice será la suma de los anteriores, normalizada a valores entre 0 y 1. Se propone la siguiente clasificación de la amenaza, con el objetivo de representar los resultados sobre el plano.

- Índice de amenaza entre 0 y 0,33: amenaza baja.
- Índice de amenaza entre 0,33 y 0,66: amenaza media.
- Índice de amenaza entre 0,66 y 1,00: amenaza alta.

A continuación, se pueden ver los resultados y la clasificación:

Tabla 25. Clasificación de cada barrio en función de su amenaza a inundaciones  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]	Clasificación amenaza
<b>Pampas Coloradas</b>	1,00	0,97	1,97	1,00	<b>ALTA</b>
<b>Miraflores</b>	0,68	0,72	1,41	0,71	<b>ALTA</b>
<b>El Edén</b>	0,09	0,08	0,18	0,09	<b>BAJA</b>
<b>Las Acacias</b>	0,26	0,27	0,53	0,27	<b>BAJA</b>
<b>La Alborada</b>	0,87	1,00	1,87	0,95	<b>ALTA</b>
<b>Central</b>	0,86	0,87	1,73	0,88	<b>ALTA</b>
<b>Las Ninfas</b>	0,45	0,44	0,88	0,45	<b>MEDIA</b>
<b>Pelican Bay</b>	0,35	0,37	0,72	0,36	<b>MEDIA</b>

La siguiente imagen muestra los resultados sobre el plano. Se observan grandes diferencias entre barrios donde el sector más occidental, compuesto de los barrios de *Pampas Coloradas*, *La Alborada* y *Miraflores*, presenta una amenaza alta. Igualmente, *Central* está bajo peligro alto de encharcamiento.

Por el contrario, *El Edén* y *Las Acacias* presentan valores bajos de amenaza, vinculados a la escasez de zonas de encharcamientos, de amenaza media en su mayoría.

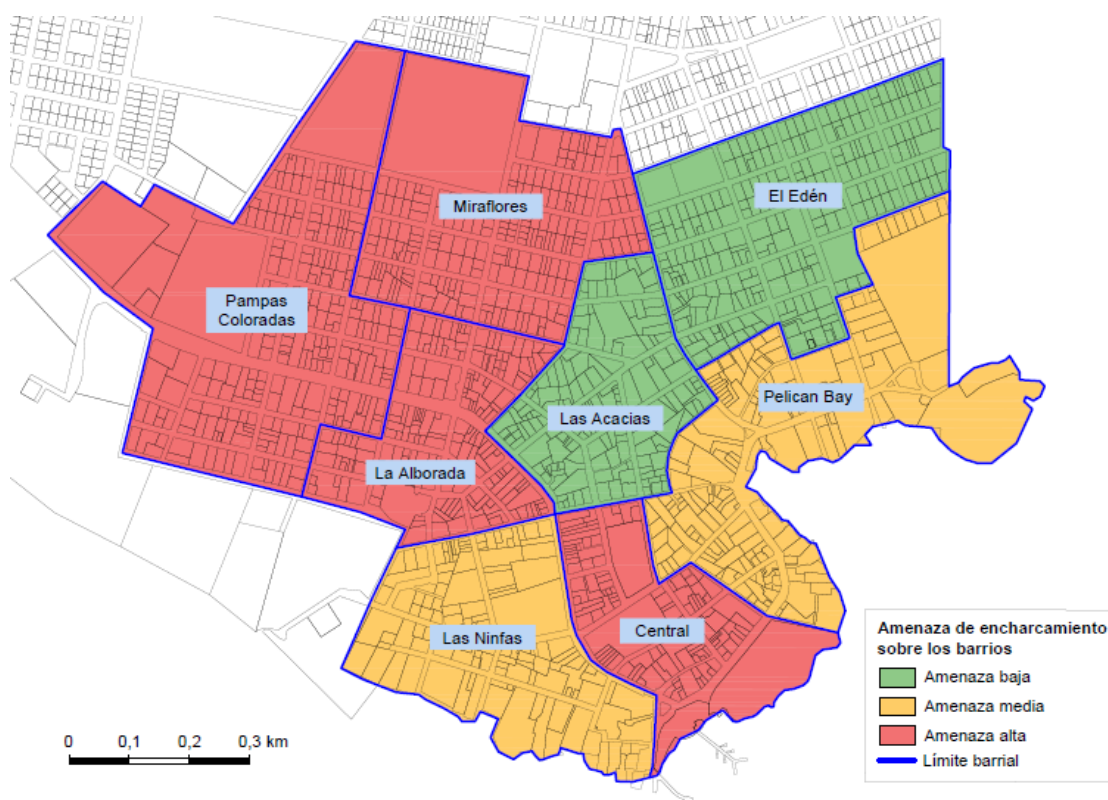


Figura 32. Nivel de amenaza de encharcamiento sobre los barrios  
Fuente: elaboración propia.

## 7.2.2 Análisis de la amenaza por zonas de encharcamiento

Este análisis es muy similar al anterior y se basa en los mismos indicadores (área de encharcamiento y volumen de inundación). No obstante, está enfocado al estudio de la amenaza desde el punto de vista de las características de las zonas de encharcamiento.

De nuevo, se calculará un índice de amenaza que englobe los resultados de los indicadores propuestos, y que será el primer factor del análisis del riesgo por zonas.

### 7.2.2.1 Indicador de amenaza en función del área encharcada

Este análisis se llevará a cabo de forma similar a como se ha hecho en el estudio de la amenaza por barrios. Se toma el área de encharcamiento de la Tabla 5 para cada zona y se pondera según nivel de amenaza: la amenaza media se pondera por un factor de 0,66, mientras que la amenaza alta se pondera con un factor de 1,00. Finalmente, la superficie ponderada se normaliza a valores entre 0 y 1.

Los resultados se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 26. Resultados del indicador de amenaza por área a nivel de zona de encharcamiento  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Nivel de amenaza	Superficie encharcada (m²)	Superficie ponderada por amenaza (alta-1,00; media-0,66)	Índice normalizado [0-1]
1	MEDIO	37,46	24,72	0,01
2	MEDIO	1845,79	1218,22	0,37
3	MEDIO	1932,92	1275,73	0,39
4	MEDIO	391,99	258,71	0,08
5	ALTO	1614,04	1614,04	0,49
6	MEDIO	306,76	202,46	0,06
7	MEDIO	215,27	142,08	0,04
8	MEDIO	155,46	102,60	0,03
9	MEDIO	131,28	86,64	0,03
10	MEDIO	2990,77	1973,91	0,60
11	ALTO	3264,84	3264,84	1,00
12	MEDIO	375,24	247,66	0,08
13	MEDIO	86,99	57,41	0,02
14	ALTO	480,83	480,83	0,15
15	MEDIO	679,3	448,34	0,14
16	MEDIO	928,04	612,51	0,19
17	MEDIO	294,87	194,61	0,06
18	ALTO	450,65	450,65	0,14
19	ALTO	572,58	572,58	0,18
20	MEDIO	697,83	460,57	0,14
21	MEDIO	270,81	178,73	0,05
22	MEDIO	1429,92	943,75	0,29
23	MEDIO	1561,45	1030,56	0,32

24	MEDIO	270,99	178,85	0,05
25	MEDIO	570,81	376,73	0,12
26	MEDIO	198,19	130,81	0,04
27	ALTO	2194,06	2194,06	0,67
28	MEDIO	1739,05	1147,77	0,35
29	ALTO	487,95	487,95	0,15

Las zonas más amenazadas según el indicador de área son aquellas que tengan una mayor área de encharcamiento combinado con un nivel alto de amenaza. En este caso, las zonas las 11 y 27 son las que presentan peores resultados, ya que ambas son muy extensas y se encuentran bajo amenaza alta. Les sigue la zona 10, que, aunque presenta amenaza media, tiene una extensión considerablemente grande.

### 7.2.2.2 Indicador de amenaza en función del volumen de encharcamiento

Para la elaboración de este indicador se sigue el mismo método que para el análisis por barrios. De nuevo, se toman los datos de área de encharcamiento de la Tabla 5 y nivel de amenaza y se asigna una altura de inundación, tal que una amenaza media provoque una inundación de 0,25 metros de altura y una amenaza media de 0,50 metros. Igual que en el análisis de barrios, el volumen encharcado será el producto del área de encharcamiento por la superficie encharcada. Finalmente, se normalizan los resultados de volumen a valores entre 0 y 1.

Seguidamente se muestran los resultados:

Tabla 27. Resultados del indicador de amenaza por volumen a nivel de zona de encharcamiento

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Nivel de amenaza	Altura encharcamiento (m)	Superficie encharcada (m <sup>2</sup> )	Volumen encharcado (m <sup>3</sup> )	Índice normalizado [0-1]
1	MEDIO	0,25	37,46	9,37	0,01
2	MEDIO	0,25	1845,79	461,45	0,28
3	MEDIO	0,25	1932,92	483,23	0,30
4	MEDIO	0,25	391,99	98,00	0,06
5	ALTO	0,50	1614,04	807,02	0,49
6	MEDIO	0,25	306,76	76,69	0,05
7	MEDIO	0,25	215,27	53,82	0,03
8	MEDIO	0,25	155,46	38,87	0,02
9	MEDIO	0,25	131,28	32,82	0,02
10	MEDIO	0,25	2990,77	747,69	0,46
11	ALTO	0,50	3264,84	1632,42	1,00
12	MEDIO	0,25	375,24	93,81	0,06
13	MEDIO	0,25	86,99	21,75	0,01
14	ALTO	0,50	480,83	240,42	0,15
15	MEDIO	0,25	679,30	169,83	0,10
16	MEDIO	0,25	928,04	232,01	0,14



17	MEDIO	0,25	294,87	73,72	0,05
18	ALTO	0,50	450,65	225,33	0,14
19	ALTO	0,50	572,58	286,29	0,18
20	MEDIO	0,25	697,83	174,46	0,11
21	MEDIO	0,25	270,81	67,70	0,04
22	MEDIO	0,25	1429,92	357,48	0,22
23	MEDIO	0,25	1561,45	390,36	0,24
24	MEDIO	0,25	270,99	67,75	0,04
25	MEDIO	0,25	570,81	142,70	0,09
26	MEDIO	0,25	198,19	49,55	0,03
27	ALTO	0,50	2194,06	1097,03	0,67
28	MEDIO	0,25	1739,05	434,76	0,27
29	ALTO	0,50	487,95	243,98	0,15

De nuevo, las zonas más extensas y con amenaza alta son más propensas a obtener peores resultados en este análisis. Así, las zonas 11 y 17 son las que presentan índices más elevados.

### 7.2.2.3 Resultados de amenaza por zona

Para obtener los resultados de amenaza por zona de encharcamiento, se combinan los resultados obtenidos en los anteriores apartados (Tabla 26 y Tabla 27). Tras sumar los resultados de ambas tablas, se normalizan los valores, de forma que se obtenga un índice que represente la amenaza por zonas de encharcamiento. Los resultados se clasifican en cinco grupos tal que:

- Índice de amenaza entre 0 y 0,05: amenaza incidental.
- Índice de amenaza entre 0,05 y 0,10: amenaza reducida.
- Índice de amenaza entre 0,10 y 0,18: amenaza moderada.
- Índice de amenaza entre 0,18 y 0,36: amenaza importante.
- Índice de amenaza entre 0,36 y 1: amenaza severa.

Conocidos los resultados de los indicadores anteriores, es previsible que las zonas más afectadas sean 11, 27 y 10. No obstante, las siguientes tablas muestran los resultados por zonas, agrupadas según el barrio en que se encuentren.

Tabla 28. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Pampas Coloradas  
Fuente: elaboración propia.

PAMPAS COLORADAS					
Nº zona	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]	Clasificación amenaza
3	0,39	0,30	0,69	0,34	IMPORTANTE
8	0,03	0,02	0,05	0,03	INCIDENTAL
9	0,03	0,02	0,05	0,02	INCIDENTAL
10	0,60	0,46	1,06	0,53	SEVERA
11	1,00	1,00	2,00	1,00	SEVERA
18	0,14	0,14	0,28	0,14	MODERADA

Tabla 29. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Miraflores  
Fuente: elaboración propia.

MIRAFLORES					
Nº zona	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]	Clasificación amenaza
1	0,01	0,01	0,01	0,01	INCIDENTAL
2	0,37	0,28	0,66	0,33	IMPORTANTE
4	0,08	0,06	0,14	0,07	REDUCIDA
5	0,49	0,49	0,99	0,49	SEVERA
6	0,06	0,05	0,11	0,05	REDUCIDA

Tabla 30. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de El Edén  
Fuente: elaboración propia.

EL EDÉN					
Nº zona	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]	Clasificación amenaza
2	0,37	0,28	0,66	0,33	IMPORTANTE
7	0,04	0,03	0,08	0,04	INCIDENTAL

Tabla 31. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Las Acacias  
Fuente: elaboración propia.

LAS ACACIAS					
Nº zona	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]	Clasificación amenaza
13	0,02	0,01	0,03	0,02	INCIDENTAL
14	0,15	0,15	0,29	0,15	MODERADA
15	0,14	0,10	0,24	0,12	MODERADA
20	0,14	0,11	0,25	0,12	MODERADA

Tabla 32. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de La Alborada  
Fuente: elaboración propia.

LA ALBORADA					
Nº zona	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]	Clasificación amenaza
11	1,00	1,00	2,00	1,00	SEVERA
12	0,08	0,06	0,13	0,07	REDUCIDA
13	0,02	0,01	0,03	0,02	INCIDENTAL
17	0,06	0,05	0,10	0,05	REDUCIDA
19	0,18	0,18	0,35	0,18	IMPORTANTE
21	0,05	0,04	0,10	0,05	REDUCIDA
22	0,29	0,22	0,51	0,25	IMPORTANTE

Tabla 33. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Central  
Fuente: elaboración propia.

CENTRAL					
Nº zona	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]	Clasificación amenaza
20	0,14	0,11	0,25	0,12	MODERADA
23	0,32	0,24	0,55	0,28	IMPORTANTE
27	0,67	0,67	1,34	0,67	SEVERA
28	0,35	0,27	0,62	0,31	IMPORTANTE

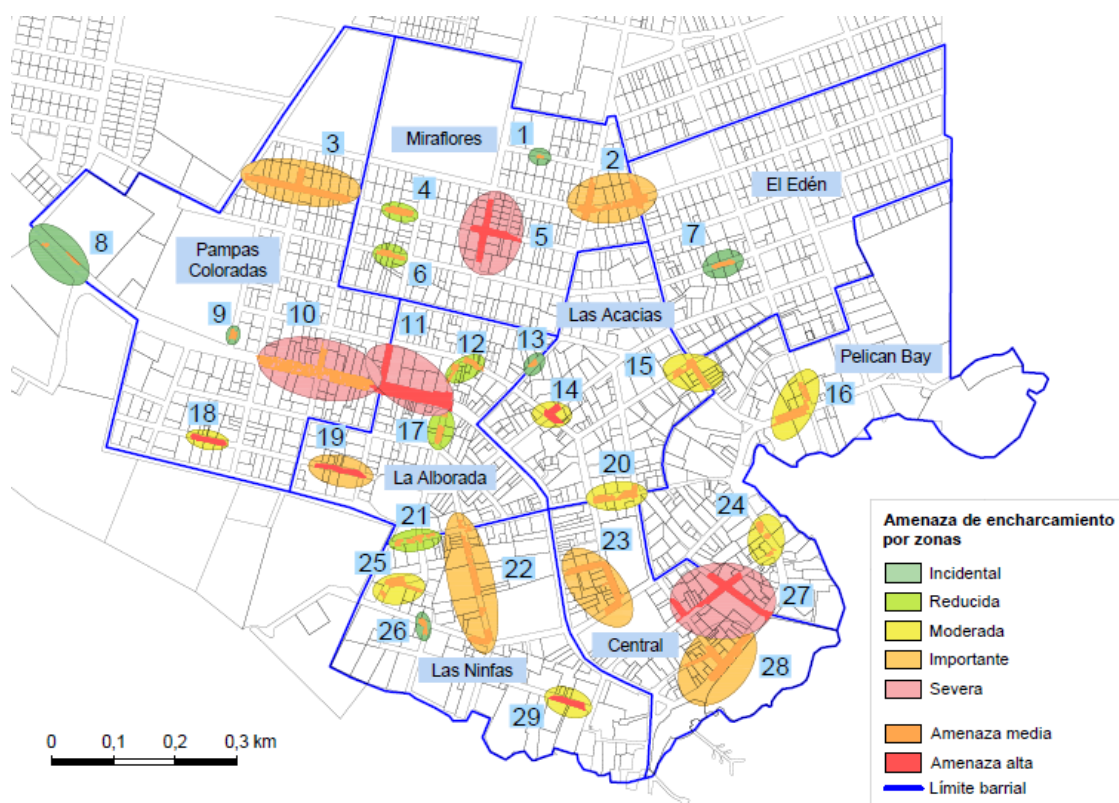
Tabla 34. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Las Ninfas  
Fuente: elaboración propia.

LAS NINFAS					
Nº zona	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]	Clasificación amenaza
21	0,05	0,04	0,10	0,05	REDUCIDA
22	0,29	0,22	0,51	0,25	IMPORTANTE
25	0,12	0,09	0,20	0,10	MODERADA
26	0,04	0,03	0,07	0,04	INCIDENTAL
29	0,15	0,15	0,30	0,15	MODERADA

Tabla 35. Clasificación del nivel de amenaza de inundación en las zonas de encharcamiento de Pelican Bay  
Fuente: elaboración propia.

PELICAN BAY					
Nº zona	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]	Clasificación amenaza
15	0,14	0,10	0,24	0,12	MODERADA
16	0,19	0,14	0,33	0,16	MODERADA
24	0,14	0,10	0,24	0,12	MODERADA
27	0,67	0,67	1,34	0,67	SEVERA

Finalmente, se muestra la clasificación de zonas de encharcamiento sobre el plano:



*Figura 33. Nivel de amenaza de cada zona de encharcamiento individual*  
*Fuente: elaboración propia.*

## 7.3 Cálculo del índice de exposición a encharcamiento

Este análisis ayudará a cuantificar el grado de exposición de aquellos sistemas humanos y materiales ubicados en una zona amenazada por encharcamiento. El nivel de exposición se obtiene teniendo en cuenta los mapas de amenaza y los activos potencialmente sensibles a encharcamiento repartidos por la zona de estudio (FIC, 2019).

Tomando como punto de partida los datos recabados a lo largo del apartado de análisis de las zonas inundables, se pueden elaborar estimadores de exposición basados en el porcentaje de población e infraestructuras afectadas por encharcamientos, o mediante la cuantificación de los efectos sobre equipamientos ubicados en zonas amenazadas.

### 7.3.1 Análisis de la exposición por barrios

#### 7.3.1.1 Indicador de exposición de población

El número de habitantes potencialmente afectados por encharcamientos en la zona de estudio asciende a 830, de los que 641 son residentes de la ciudad y 189 se alojan en los establecimientos hoteleros de Puerto Ayora.

La mayoría de las viviendas afectadas se ubican en los barrios más poblados, al norte y oeste de la ciudad, como *Pampas Coloradas*, *Miraflores* y *La Alborada*. No obstante, la afección a los alojamientos ocurre prácticamente en su totalidad en los barrios del sur, como *Central* y

*Pelican Bay*, donde predomina el sector turístico, pero la densidad de población es baja. De esta manera, se observa que la afección a la población está repartida por toda la zona de estudio.

Los resultados de población afectada por barrio obtenidos en el análisis de zonas inundables (Tabla 19 y Tabla 20) serán el punto de partida para la elaboración de este indicador. Se ponderará el resultado según nivel de amenaza, multiplicando por 0,66 en caso de amenaza media y 1,00 si se trata de amenaza alta. Posteriormente, se obtendrá la suma ponderada de habitantes amenazados por inundación y el porcentaje que esto supone de la población total del barrio. Conocido este dato se puede normalizar el resultado a valores entre 0 y 1 de manera que se pueda representar la importancia relativa de cada unidad de análisis. La formulación utilizada ha sido la siguiente, tal como se explica en el apartado de

Métodos y herramientas :

$$I = \frac{\text{valor observado}}{\text{peor valor}}$$

La siguiente tabla muestra los resultados descritos:

Tabla 36. Resultados del indicador de exposición de población a nivel de barrio  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Pobl. total barrio	Pobl. amenaza media (0,66)	Pobl. amenaza alta (1,00)	Suma ponderada	Porcentaje ponderado respecto al total	Índice exposición [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	1193	103	39	106,98	8,97	0,48
<b>Miraflores</b>	1502	101	50	116,66	7,77	0,42
<b>El Edén</b>	970	27	0	17,82	1,84	0,10
<b>Las Acacias</b>	746	33	16	37,78	5,06	0,27
<b>La Alborada</b>	1056	104	119	187,64	17,77	0,95
<b>Central</b>	415	63	36	77,58	18,69	1,00
<b>Las Ninfas</b>	489	52	25	59,32	12,13	0,65
<b>Pelican Bay</b>	447	44	18	47,04	10,52	0,56

En la siguiente figura se pueden ver los resultados del indicador normalizado sobre el mapa.

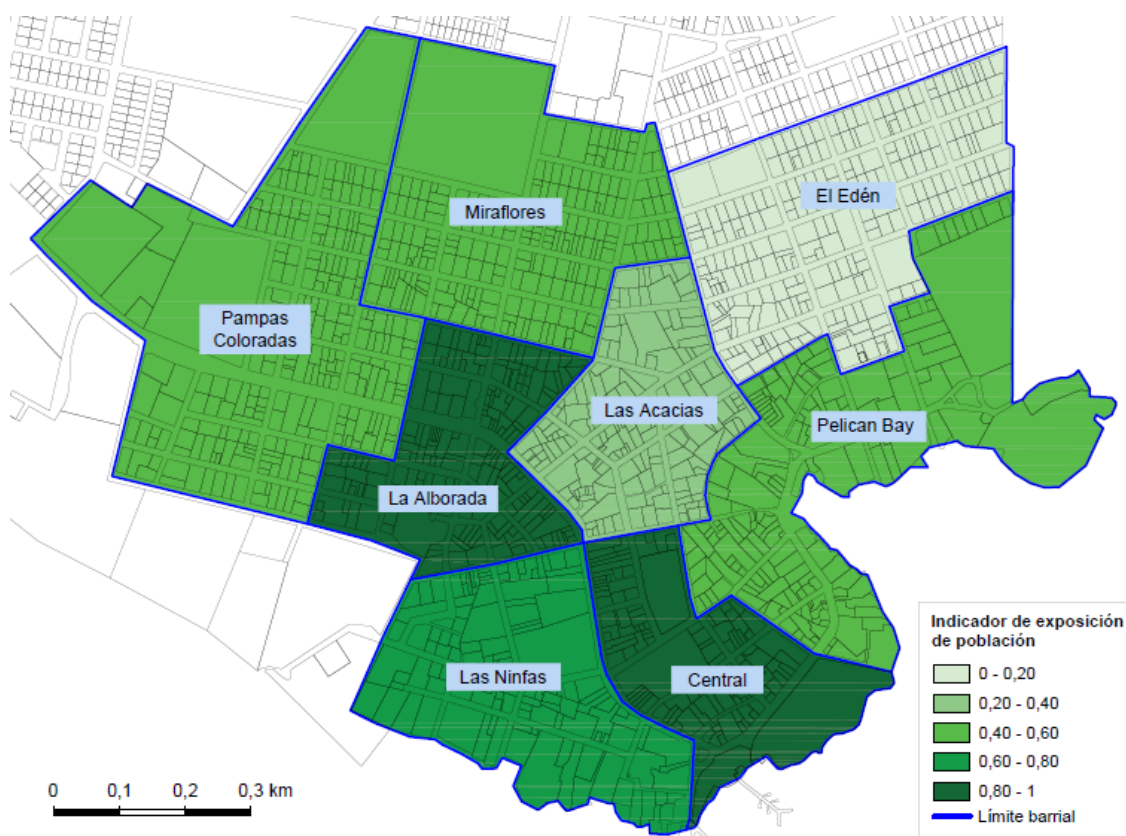


Figura 34. Indicador de exposición de población  
Fuente: elaboración propia.

Se observa que los barrios más expuestos son *Central* y *La Alborada*. Mientras que la mayor parte de la afección en *La Alborada* se debe a la alta densidad de población y la gran cantidad de habitantes que tiene, la exposición en el barrio *Central* está relacionado con el número de alojamientos expuestos a inundación en esa zona.

#### 7.3.1.2 Indicador de exposición de equipamientos

Buena parte de los equipamientos de la ciudad se ubican en los barrios del sur, especialmente en el *Central*, no obstante, la Avenida Baltra, a su paso por *Pampas Coloradas* y *La Alborada*, también presenta equipamientos de cierta relevancia.

Para el análisis de exposición de equipamientos se han clasificado según su importancia. Aquellos equipamientos de importancia alta serán los que abastezcan o sean necesarios para toda la población del área de estudio, mientras que los de importancia media serían relevantes únicamente a nivel de barrio. El resto de equipamientos presentes se califican como de importancia baja. Los equipamientos correspondientes a cada clase son los siguientes:

- Importancia alta: hospitales y centros sanitarios, centros educativos y culturales, Mercado Municipal, instalaciones eléctricas y de telecomunicaciones, instalaciones de cuerpos de seguridad y fuerzas armadas e instalaciones estatales y del Gobierno.
- Importancia media: instalaciones deportivas, parques y jardines, lugares de culto, instalaciones comerciales de relevancia y otros servicios públicos.



- Importancia baja: comercios locales y hostelería.

Para el cálculo del indicador se ha determinado el número de equipamientos de cada nivel que existen en cada zona, tomando como referencia la Tabla 10 y la Figura 29. Esta clasificación permite ponderar los resultados obtenidos, de manera que el número de equipamientos de importancia alta se pondera con un factor de 1,00; los de importancia media con 0,66 e importancia baja con 0,33. A su vez, se tendrá en cuenta el nivel de amenaza del lugar en el que se ubique cada equipamiento, de manera que una amenaza alta pondera por 1,00 y una amenaza media por 0,66.

Así, la siguiente tabla muestra el número de equipamientos de cada nivel de importancia, expuestos a cada nivel de amenaza que existen en cada barrio. Asimismo, se puede ver la suma ponderada con los factores correspondientes.

Tabla 37. Índice ponderado de equipamientos por barrio  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Importancia alta (1,00)		Importancia media (0,66)		Importancia baja (0,33)		Total ponderado
	Am. Alta (1,00)	Am. Media (0,66)	Am. Alta (1,00)	Am. Media (0,66)	Am. Alta (1,00)	Am. Media (0,66)	
Pampas Coloradas		3		1	4	16	7,22
Miraflores		1	1		7	6	4,94
El Edén		1		2		4	2,40
Las Acacias		1			1	3	1,64
La Alborada	1			1	16	7	8,24
Central	2	6	1	1	10	24	15,58
Las Ninfas		1		2	1	2	2,30
Pelican Bay		1			5	15	5,58

A partir del total de equipamientos ponderado se puede obtener un indicador normalizado del grado de exposición de los barrios a la inundación. Dicho resultado se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 38. Resultados del indicador de exposición de equipamientos a nivel de barrio  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Total	Índice de exposición [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	7,22	0,46
<b>Miraflores</b>	4,94	0,32
<b>El Edén</b>	2,40	0,15
<b>Las Acacias</b>	1,64	0,11
<b>La Alborada</b>	8,24	0,53
<b>Central</b>	15,58	1,00
<b>Las Ninfas</b>	2,30	0,15
<b>Pelican Bay</b>	5,58	0,36

Se observa que los equipamientos situados en el barrio *Central* son, con diferencia, los más expuestos a inundación. *La Alborada* y *Pampas Coloradas* también presentan alto grado de

exposición, aunque se puede ver que en *Las Acacias* no existe apenas afección a equipamientos. A continuación, se pueden ver estos resultados sobre el mapa.

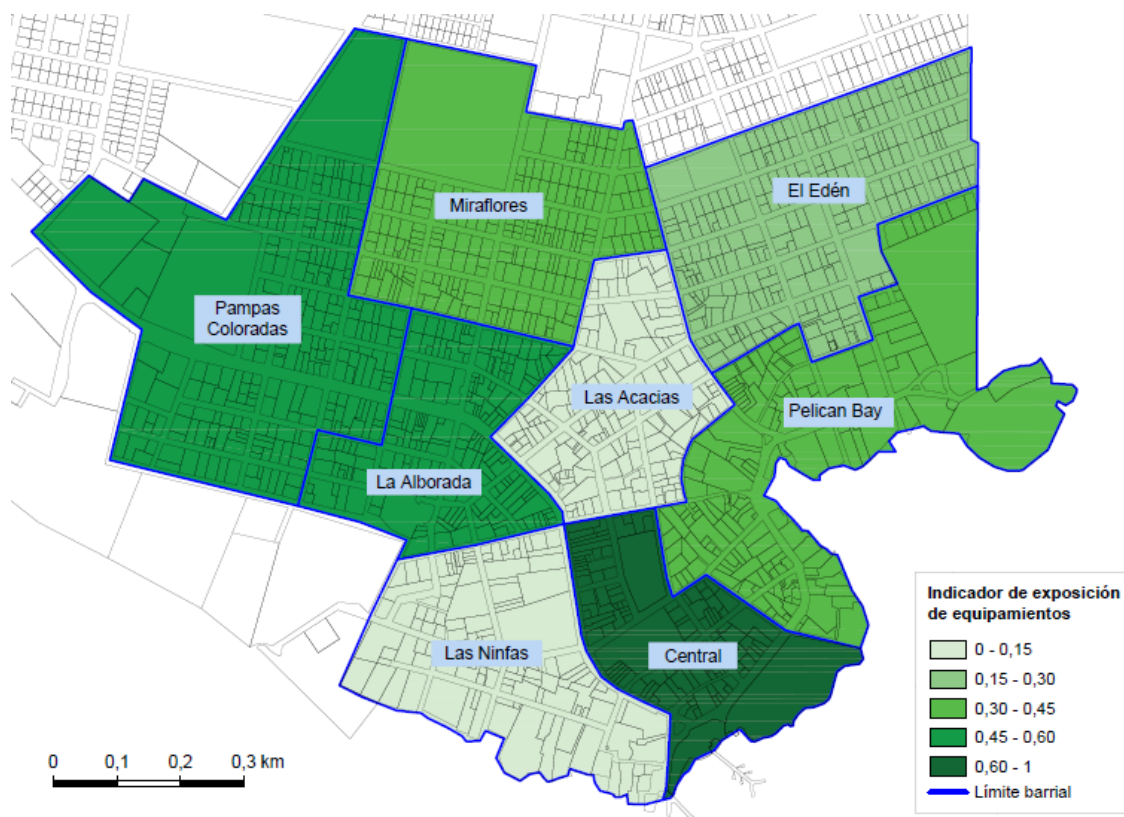


Figura 35. Indicador de exposición de equipamientos  
Fuente: elaboración propia.

### 7.3.1.3 Indicador de exposición del viario principal

Partiendo de los datos de la Tabla 22, se conoce la longitud total de vías principales con la que cuenta cada barrio y que parte de la misma está expuesta a amenazas media y alta. Si se pondera la longitud bajo amenaza alta por 1,00 y bajo amenaza media por 0,66, como ya se ha hecho en los demás indicadores, se puede obtener una longitud total ponderada que representa la longitud total de vías principales expuesta en cada barrio, teniendo en cuenta distinto grado de amenaza presente.

La siguiente tabla muestra estos resultados. Sabiendo el total ponderado y la longitud total de vías principales, se puede establecer un porcentaje de exposición a inundación respecto a la longitud total de vías que discurren por la zona.

Tabla 39. Porcentaje de viario principal expuesto a inundación por barrio  
Fuente: elaboración propia.

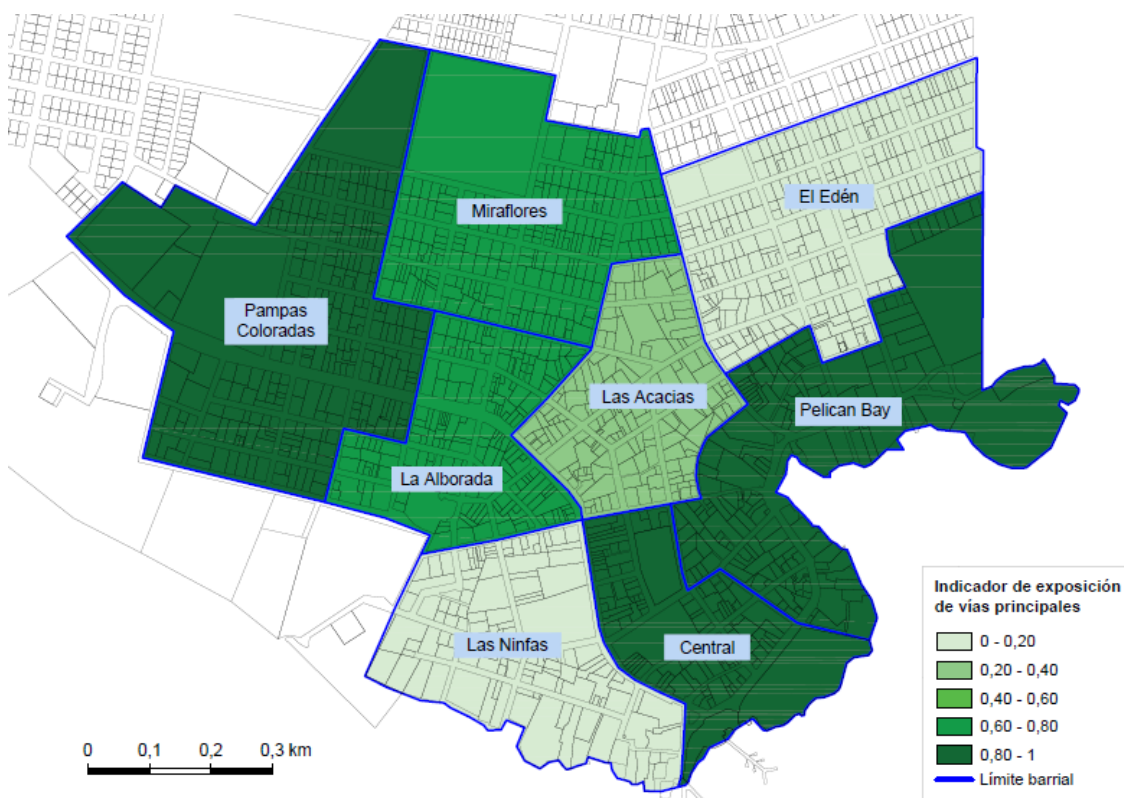
Barrio	Vía	Longitud vía principal en barrio	Longitud amenaza media (0,66)	Longitud amenaza alta (1,00)	Total ponderado	Porcentaje respecto a longitud total (%)
Pampas Coloradas	Avda. Baltra	643,00	228,67	18,68	169,60	26,38
	Gral. Rdguez. Lara	252,00	0,00	6,01	6,01	2,38
	Petrel	189,00	176,00	0,00	116,16	61,46
	<b>TOTAL</b>	<b>1084,00</b>	<b>404,67</b>	<b>24,69</b>	<b>291,77</b>	<b>26,92</b>
Miraflores	Isla Floreana	213,00	51,83	0,00	34,21	16,06
	San Cristóbal	363,00	71,46	0,00	47,16	12,99
	Petrel	483,00	46,36	85,80	116,40	24,10
	<b>TOTAL</b>	<b>1059,00</b>	<b>169,65</b>	<b>85,80</b>	<b>197,77</b>	<b>18,68</b>
El Edén	Petrel	503,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Isla Floreana	345,00	51,83	0,00	34,21	9,92
	<b>TOTAL</b>	<b>848,00</b>	<b>51,83</b>	<b>0,00</b>	<b>34,21</b>	<b>4,03</b>
Las Acacias	Avda. Baltra	189,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Gral. Rdguez. Lara	230,00	5,47	36,44	40,05	17,41
	Isla Floreana	271,00	57,86	0,00	38,19	14,09
	Petrel	109,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	San Cristóbal	331,00	13,67	0,00	9,02	2,73
	<b>TOTAL</b>	<b>1130,00</b>	<b>77,00</b>	<b>36,44</b>	<b>87,26</b>	<b>7,72</b>
La Alborada	Avda. Baltra	357,00	0,00	119,01	119,01	33,34
	Gral. Rdguez. Lara	211,00	38,40	6,01	31,35	14,86
	San Cristóbal	191,00	13,67	0,00	9,02	4,72
	<b>TOTAL</b>	<b>759,00</b>	<b>52,07</b>	<b>125,02</b>	<b>159,39</b>	<b>21,00</b>
Central	Avda. Baltra	393,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Avda. Charles Darwin	225,00	97,49	7,74	72,08	32,04
	Gral. Rdguez. Lara	181,00	83,38	0,00	55,03	30,40
	Tomás de Berlanga	243,00	0,00	99,15	99,15	40,80
	12 de Febrero	238,00	0,00	120,61	120,61	50,68
	<b>TOTAL</b>	<b>1280,00</b>	<b>180,87</b>	<b>227,50</b>	<b>346,87</b>	<b>27,10</b>
Las Ninfas	Avda. Baltra	393,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL</b>	<b>393,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Pelican Bay	Avda. Charles Darwin	720,00	98,05	7,74	72,45	10,06
	Isla Floreana	153,00	57,86	0,00	38,19	24,96
	Tomás de Berlanga	98,00	16,24	31,97	42,69	43,56
	12 de Febrero	238,00	0,00	120,61	120,61	50,68
	<b>TOTAL</b>	<b>1209,00</b>	<b>172,15</b>	<b>160,32</b>	<b>273,94</b>	<b>22,66</b>

El dato de porcentaje de longitud expuesta respecto a la longitud total será el indicador de exposición, de manera que se puede normalizar y representar los resultados sobre el plano, tal como se muestra a continuación.

*Tabla 40. Resultados del indicador de exposición del viario principal a nivel de barrio*  
*Fuente: elaboración propia.*

Barrio	Porcentaje respecto a longitud total (%)	Índice exposición [0-1]
Pampas Coloradas	26,92	0,99
Miraflores	18,68	0,69
El Edén	4,03	0,15
Las Acacias	7,72	0,28
La Alborada	21,00	0,77
Central	27,10	1,00
Las Ninfas	0,00	0,00
Pelican Bay	22,66	0,84

De nuevo, el barrio *Central* es el más expuesto, seguido de *Pampas Coloradas*, *Pelican Bay* y *La Alborada*. Por estos barrios discurren las avenidas más importantes de la ciudad, como son Avenida Baltra y Avenida Charles Darwin, por lo que la amenaza en estos puntos adquiere aún más importancia.



*Figura 36. Indicador de exposición del viario principal*  
*Fuente: elaboración propia.*

#### 7.3.1.4 Resultados de exposición por barrio

Si se suman los resultados de los tres indicadores extraídos de Tabla 36, Tabla 38 y Tabla 40, se obtiene un valor que da cuenta de la exposición total a la inundación de cada barrio y que es dependiente de la población, los equipamientos y las vías principales presentes en cada uno.

Este nuevo índice global, resultante del anterior análisis, variará entre 0 y 3 (suma de los diferentes índices), y una vez normalizado a valores entre 0 y 1, permitirá clasificar cada barrio en función de su nivel de exposición a episodios de inundación:

- Índice de exposición entre 0 y 0,33: exposición baja.
- Índice de exposición entre 0,33 y 0,66: exposición media.
- Índice de exposición entre 0,66 y 1: exposición alta.

Tabla 41. Clasificación de cada barrio en función de su exposición a inundaciones  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Índice población [0-1]	Índice equip. [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Total	Índice exposición [0-1]	Calificación exposición
Pampas Coloradas	0,48	0,46	0,99	1,94	0,65	<b>MEDIA</b>
Miraflores	0,42	0,32	0,69	1,42	0,47	<b>MEDIA</b>
El Edén	0,10	0,15	0,15	0,40	0,13	<b>BAJA</b>
Las Acacias	0,27	0,11	0,28	0,66	0,22	<b>BAJA</b>
La Alborada	0,95	0,53	0,77	2,25	0,75	<b>ALTA</b>
Central	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	<b>ALTA</b>
Las Ninfas	0,65	0,15	0,00	0,80	0,27	<b>BAJA</b>
Pelican Bay	0,56	0,36	0,84	1,76	0,59	<b>MEDIA</b>

A continuación, se pueden ver estos resultados sobre el mapa.



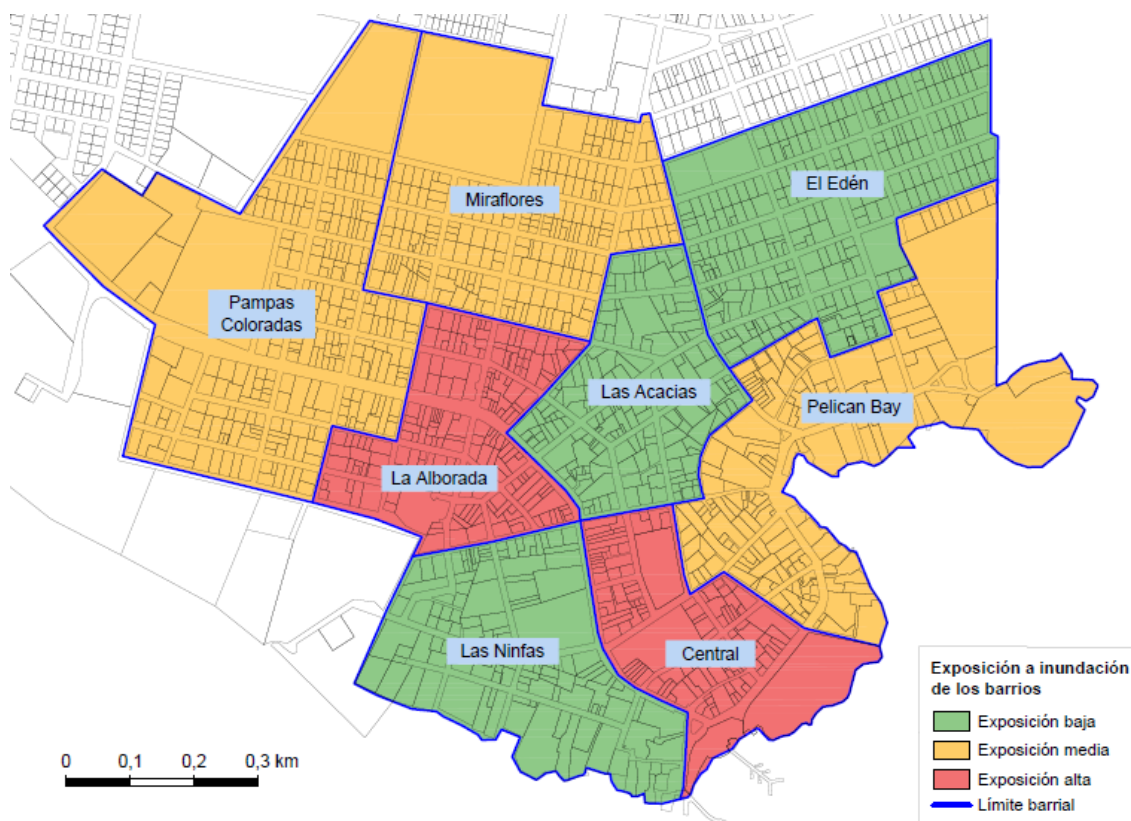


Figura 37. Nivel de exposición total de los barrios a encharcamiento  
Fuente: elaboración propia.

A la vista de los resultados, se observa que los barrios *Central* y *La Alborada* están en una situación de exposición alta a la inundación. Todos los indicadores alcanzan el máximo nivel en el barrio *Central*, donde existe gran número de equipamientos muy relevantes y vías importantes sirven de conexión entre diferentes partes de la ciudad o incluso con el resto de la isla. Además, la cantidad de población expuesta es alta, principalmente gracias a la contribución de los numerosos alojamientos existentes.

El caso de *La Alborada* es ligeramente diferente, aunque también lleva a una situación grave. En esta zona coexisten vías de vital importancia para la ciudad como Avenida Baltra, que permite la salida de la ciudad a otros puntos de Santa Cruz, y otras vías de menor entidad que conectan puntos dentro de la ciudad. Además, la cantidad de equipamientos, principalmente a lo largo de Avenida Baltra, es importante, entre los que destacan el Mercado Municipal de Puerto Ayora, relevante para toda la ciudad. No obstante, en *La Alborada* destaca la cantidad de población expuesta, prácticamente en su totalidad residente en la ciudad, al no ser esta una zona turística y carecer de alojamientos.

*Pampas Coloradas*, *Miraflores* y *Pelican Bay* presentan una exposición de nivel medio. Los tres barrios tienen características similares en cuanto a que la presencia de equipamientos es escasa y existen calles relativamente importantes que actúan como conectores de los distintos barrios. No obstante, la población de *Pampas Coloradas* y *Miraflores* es principalmente residente en la ciudad, mientras que en *Pelican Bay* se presenta afección a alojamientos, lo que aumenta notablemente la cantidad de población expuesta en este barrio.



Finalmente, *Las Ninfas*, *Las Acacias* y *El Edén* presentan una exposición baja a inundación. *El Edén* y *Las Acacias* no muestran muchas zonas de encharcamiento, por lo que, tanto población como equipamientos, se ven afectados en menor medida que en el resto de barrios. Sin embargo, el paso de vías de conexión entre zonas de la ciudad por estos barrios sí supone cierta afección. En el caso de *Las Ninfas*, la exposición de la población, principalmente alojada en hoteles, es la que marca el nivel de exposición total de esta zona.

En conclusión, los barrios que requieren una actuación más inmediata para paliar las inundaciones son *Central* y *La Alborada*. A continuación, se realizará un análisis de las zonas individuales presentes en cada barrio, de manera que se pueda determinar cuáles son las causantes de los altos niveles de exposición. De esta forma, será posible determinar sobre qué zonas se debe actuar.

### 7.3.2 Análisis de la exposición por zonas de encharcamiento

A continuación, se llevará a cabo un análisis similar al anterior, en el que se estudiará la población, los equipamientos y el viario principal expuesto, de manera que se pueda elaborar un indicador de exposición para cada zona de encharcamiento individual. Esto permitirá determinar posteriormente qué zonas son las que presentan mayor nivel de riesgo, y, por tanto, sobre cuáles será más adecuado actuar.

#### 7.3.2.1 Indicador de exposición de población

Este análisis se llevará a cabo de una manera análoga a cómo se ha efectuado en el caso de los barrios. En primer lugar, se toman el número de residentes y alojados amenazados en cada zona de encharcamientos de la Tabla 18. Puesto que cada zona tiene un nivel de amenaza diferente, se asigna un valor de ponderación a cada uno: 1,00 para amenaza alta y 0,66 para amenaza media. De esta manera, se puede calcular una suma ponderada que da cuenta de la cantidad de población expuesta, teniendo en cuenta el nivel de amenaza al que se expone. Finalmente, este valor se puede normalizar para obtener un indicador entre 0 y 1, de forma que se pueda comparar este indicador con los demás.

Tabla 42. Resultados del indicador de población expuesta a nivel de zona de encharcamiento  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Nivel amenaza	Nº residentes expuestos	Nº alojados expuestos	Nº total	Suma ponderada (alta-1,00; media-0,66)	Índice exposición [0-1]
1	MEDIO	9	0	9	5,94	0,08
2	MEDIO	60	0	60	39,60	0,57
3	MEDIO	36	7	43	28,38	0,41
4	MEDIO	16	7	23	15,18	0,22
5	ALTO	36	14	50	50,00	0,71
6	MEDIO	12	0	12	7,92	0,11
7	MEDIO	7	14	21	13,86	0,20
8	MEDIO	0	0	0	0,00	0,00
9	MEDIO	0	0	0	0,00	0,00

10	MEDIO	60	0	60	39,60	0,57
11	ALTO	70	0	70	70,00	1,00
12	MEDIO	26	7	33	21,78	0,31
13	MEDIO	10	0	10	6,60	0,09
14	ALTO	16	0	16	16,00	0,23
15	MEDIO	15	7	22	14,52	0,21
16	MEDIO	15	14	29	19,14	0,27
17	MEDIO	26	7	33	21,78	0,31
18	ALTO	17	14	31	31,00	0,44
19	ALTO	57	0	57	57,00	0,81
20	MEDIO	19	0	19	12,54	0,18
21	MEDIO	24	0	24	15,84	0,23
22	MEDIO	30	14	44	29,04	0,41
23	MEDIO	12	0	12	7,92	0,11
24	MEDIO	5	7	12	7,92	0,11
25	MEDIO	9	7	16	10,56	0,15
26	MEDIO	6	0	6	3,96	0,06
27	ALTO	12	42	54	54,00	0,77
28	MEDIO	11	28	39	25,74	0,37
29	ALTO	25	0	25	25,00	0,36

Las zonas 11 y 19 (*La Alborada*), tienen un alto nivel de exposición debido a la gran densidad de población del barrio, y en el caso de la zona 11, también debido a su extensión. La zona 27 (*Central*), presenta varios alojamientos a su alrededor, lo que influye en la población expuesta por esta zona. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el análisis por barrios, donde *Central* y *La Alborada* resultaban ser los más expuestos.

### 7.3.2.2 Indicador de exposición de equipamientos

El análisis de exposición de equipamientos por zonas de encharcamientos se ha basado en la metodología utilizada para el análisis por barrios. Los equipamientos de cada zona, extraídos de la Tabla 9 y la Figura 29, se han clasificado según su grado de relevancia en la ciudad (alta, media o baja), dando diferentes factores de ponderación a cada nivel. Además, se ha tenido en cuenta el nivel de amenaza que presenta cada zona, otorgando nuevamente un factor de ponderación a cada uno. Los factores utilizados han sido los siguientes:

Tabla 43. Factores de ponderación para indicador de exposición de equipamientos  
Fuente: elaboración propia.

Equipamientos	Importancia alta	1,00
	Importancia media	0,66
	Importancia baja	0,33
Nivel de amenaza	Amenaza alta	1,00
	Amenaza media	0,66

Así, la siguiente tabla muestra el número de equipamientos de cada nivel de importancia por zona. Asimismo, se puede ver la suma ponderada con los factores correspondientes y el indicador de exposición resultante.

Tabla 44. Resultados del indicador de exposición de equipamientos a nivel de zona de encharcamiento  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Nivel de amenaza	Imp. alta (1,00)	Imp. media (0,66)	Imp. baja (0,33)	Suma ponderada (alta-1,00; media-0,66)	Índice exposición [0-1]
1	MEDIO	1			0,66	0,08
2	MEDIO	1	1	4	1,97	0,24
3	MEDIO			3	0,65	0,08
4	MEDIO			1	0,22	0,03
5	ALTO		1	8	3,30	0,40
6	MEDIO			2	0,44	0,05
7	MEDIO		1	2	0,87	0,11
8	MEDIO	1			0,66	0,08
9	MEDIO		1		0,44	0,05
10	MEDIO	2		11	3,72	0,45
11	ALTO	1	1	15	6,61	0,80
12	MEDIO		1	3	1,09	0,13
13	MEDIO			2	0,44	0,05
14	ALTO			1	0,33	0,04
15	MEDIO	1		2	1,10	0,13
16	MEDIO			8	1,74	0,21
17	MEDIO			2	0,44	0,05
18	ALTO			2	0,66	0,08
19	ALTO			1	0,33	0,04
20	MEDIO			1	0,22	0,03
21	MEDIO				0,00	0,00
22	MEDIO	1	2	1	1,75	0,21
23	MEDIO	4		10	4,82	0,58
24	MEDIO	1		8	2,40	0,29
25	MEDIO			1	0,22	0,03
26	MEDIO				0,00	0,00
27	ALTO	2	1	17	8,27	1,00
28	MEDIO	2	1	14	4,80	0,58
29	ALTO			1	0,33	0,04

Los resultados del análisis por barrios mostraban que el barrio *Central* era el más expuesto en lo que respecta a equipamientos. El análisis de las zonas confirma este hecho, al ser las áreas 27, 28 y 23, en el barrio *Central*, tres de las más afectadas. También cabe destacar el caso de la zona 11 (*La Alborada*), ya que también es causante de la exposición a inundación de varios equipamientos, especialmente de baja importancia.

### 7.3.2.3 Indicador de exposición del viario principal

Conociendo la longitud de cada zona de encharcamiento a su paso por una vía principal y ponderando según el nivel de amenaza (amenaza alta por 1,00 y amenaza media por 0,66), se puede obtener una longitud total ponderada que representa la longitud total de cada zona de encharcamiento sobre una vía principal teniendo en cuenta distinto grado de amenaza presente.

La siguiente tabla muestra dichos resultados. A partir de la longitud ponderada según amenaza se puede determinar un indicador de exposición entre 0 y 1 que permitirá realizar la comparación entre zonas.

Tabla 45. Resultados del indicador de exposición del viario principal afectado a nivel de zona de encharcamiento  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Nivel de amenaza	Long. zona sobre vía principal	Longitud ponderada según amenaza (alta-1,00; media-0,66)	Índice exposición [0-1]
1	MEDIO	0,00	0,00	0,00
2	MEDIO	123,29	81,37	0,30
3	MEDIO	176,00	116,16	0,43
4	MEDIO	46,36	30,60	0,11
5	ALTO	85,80	85,80	0,32
6	MEDIO	0,00	0,00	0,00
7	MEDIO	0,00	0,00	0,00
8	MEDIO	39,30	25,94	0,10
9	MEDIO	0,00	0,00	0,00
10	MEDIO	189,37	124,98	0,47
11	ALTO	149,71	149,71	0,56
12	MEDIO	38,04	25,11	0,09
13	MEDIO	13,67	9,02	0,03
14	ALTO	36,44	36,44	0,14
15	MEDIO	57,86	38,19	0,14
16	MEDIO	66,88	44,14	0,17
17	MEDIO	0,00	0,00	0,00
18	ALTO	0,00	0,00	0,00
19	ALTO	0,00	0,00	0,00
20	MEDIO	10,93	7,21	0,03
21	MEDIO	0,00	0,00	0,00
22	MEDIO	0,00	0,00	0,00
23	MEDIO	77,91	51,42	0,19
24	MEDIO	47,41	31,29	0,12
25	MEDIO	0,00	0,00	0,00
26	MEDIO	0,00	0,00	0,00
27	ALTO	267,21	267,21	1,00
28	MEDIO	97,49	64,34	0,24
29	ALTO	0,00	0,00	0,00

#### 7.3.2.4 Resultados de exposición por zona

Combinando los resultados de los indicadores obtenidos en Tabla 42, Tabla 44 y Tabla 45 se obtiene un indicador global para cada zona que da cuenta de la exposición conjunta de la población, los equipamientos y las vías principales adyacentes a cada una.

Al igual que en el análisis por barrios, este nuevo indicador normalizado resultante del análisis permitirá clasificar cada zona en función de su nivel de exposición. Como en este caso el número de elementos a evaluar es mayor, se clasificará el indicador en cinco grupos.

- Índice de exposición entre 0 y 0,07: exposición incidental.
- Índice de exposición entre 0,07 y 0,15: exposición reducida.
- Índice de exposición entre 0,15 y 0,20: exposición moderada.
- Índice de exposición entre 0,20 y 0,50: exposición importante.
- Índice de exposición entre 0,50 y 1: exposición severa.

A continuación, se puede ver esta clasificación en las siguientes tablas. En ellas se dividen las zonas en función del barrio al que pertenecen y se muestran los indicadores exposición por población, equipamientos y viario principal, así como el indicador global.

Tabla 46. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Pampas Coloradas  
Fuente: elaboración propia.

PAMPAS COLORADAS					
Nº zona	Índice de población [0-1]	Índice de equipamientos [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Índice exposición [0-1]	Clasificación exposición
3	0,41	0,08	0,43	0,33	IMPORTANTE
8	0,00	0,08	0,10	0,06	INCIDENTAL
9	0,00	0,05	0,00	0,02	INCIDENTAL
10	0,57	0,45	0,47	0,54	SEVERA
11	1,00	0,80	0,56	0,85	SEVERA
18	0,44	0,08	0,00	0,19	MODERADA

Tabla 47. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Miraflores  
Fuente: elaboración propia.

MIRAFLORES					
Nº zona	Índice de población [0-1]	Índice de equipamientos [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Índice exposición [0-1]	Clasificación exposición
1	0,08	0,08	0,00	0,06	INCIDENTAL
2	0,57	0,24	0,30	0,40	IMPORTANTE
4	0,22	0,03	0,11	0,13	REDUCIDA
5	0,71	0,40	0,32	0,52	SEVERA
6	0,11	0,05	0,00	0,06	INCIDENTAL

Tabla 48. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de El Edén  
Fuente: elaboración propia.

EL EDÉN					
Nº zona	Índice de población [0-1]	Índice de equipamientos [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Índice exposición [0-1]	Clasificación exposición
2	0,57	0,24	0,30	0,40	IMPORTANTE
7	0,20	0,11	0,00	0,11	REDUCIDA

Tabla 49. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Las Acacias  
Fuente: elaboración propia.

LAS ACACIAS					
Nº zona	Índice de población [0-1]	Índice de equipamientos [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Índice exposición [0-1]	Clasificación exposición
13	0,09	0,05	0,03	0,07	INCIDENTAL
14	0,23	0,04	0,14	0,15	REDUCIDA
15	0,21	0,13	0,14	0,17	MODERADA
20	0,18	0,03	0,03	0,08	REDUCIDA

Tabla 50. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de La Alborada  
Fuente: elaboración propia.

LA ALBORADA					
Nº zona	Índice de población [0-1]	Índice de equipamientos [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Índice exposición [0-1]	Clasificación exposición
11	1,00	0,80	0,56	0,85	SEVERA
12	0,31	0,13	0,09	0,19	MODERADA
13	0,09	0,05	0,03	0,07	INCIDENTAL
17	0,31	0,05	0,00	0,13	REDUCIDA
19	0,81	0,04	0,00	0,31	IMPORTANTE
21	0,23	0,00	0,00	0,08	REDUCIDA
22	0,41	0,21	0,00	0,23	IMPORTANTE

Tabla 51. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Central  
Fuente: elaboración propia.

CENTRAL					
Nº zona	Índice de población [0-1]	Índice de equipamientos [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Índice exposición [0-1]	Clasificación exposición
20	0,18	0,03	0,03	0,08	REDUCIDA
23	0,11	0,58	0,19	0,32	IMPORTANTE
27	0,77	1,00	1,00	1,00	SEVERA
28	0,37	0,58	0,24	0,43	IMPORTANTE



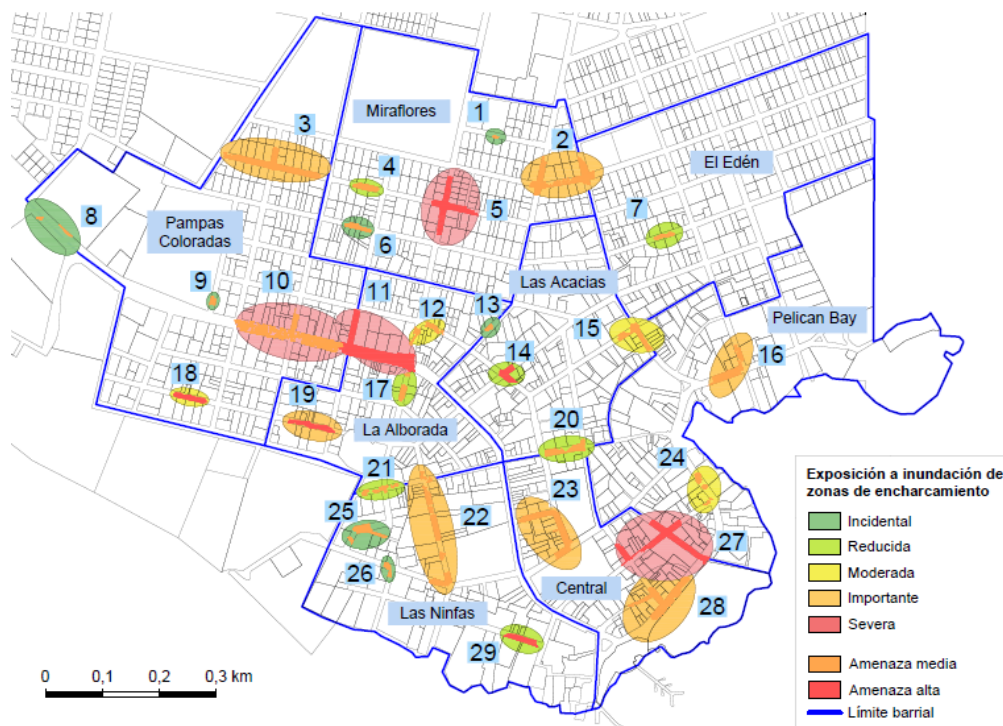
*Tabla 52. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Las Ninfas*  
Fuente: elaboración propia.

LAS NINFAS					
Nº zona	Índice de población [0-1]	Índice de equipamientos [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Índice exposición [0-1]	Clasificación exposición
21	0,23	0,00	0,00	0,08	REDUCIDA
22	0,41	0,21	0,00	0,23	IMPORTANTE
25	0,15	0,03	0,00	0,06	INCIDENTAL
26	0,06	0,00	0,00	0,02	INCIDENTAL
29	0,36	0,04	0,00	0,14	REDUCIDA

*Tabla 53. Clasificación del nivel de exposición a inundación en las zonas de encharcamiento de Pelican Bay*  
Fuente: elaboración propia.

PELICAN BAY					
Nº zona	Índice de población [0-1]	Índice de equipamientos [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Índice exposición [0-1]	Clasificación exposición
15	0,21	0,13	0,14	0,17	MODERADA
16	0,27	0,21	0,17	0,23	IMPORTANTE
24	0,11	0,29	0,12	0,19	MODERADA
27	0,77	1,00	1,00	1,00	SEVERA

Esta clasificación se puede ver sobre el plano en la siguiente figura.



*Figura 38. Nivel de exposición total de cada zona de encharcamiento individual*  
Fuente: elaboración propia.

Este análisis permitirá priorizar sobre qué zonas se debe actuar para minimizar las afecciones por encharcamiento lo máximo posible y centrar la atención especialmente en aquellas que presenten una exposición severa o importante.

## 7.4 Cálculo del índice de vulnerabilidad a encharcamiento

El análisis de vulnerabilidad permitirá conocer el nivel de predisposición de los elementos expuestos a sufrir efectos adversos derivados de la amenaza de encharcamiento. Para su determinación es necesario conocer la sensibilidad y la capacidad adaptativa de los sistemas. La sensibilidad se entiende como la propensión de seres humanos, infraestructura y entorno expuestos de verse afectados por amenazas, mientras que la capacidad adaptativa señala las limitaciones de acceso y movilización de recursos de la población, así como su capacidad de respuesta frente a impactos derivados de las amenazas (Cardona et al., 2012).

Puesto que la obtención de datos a nivel barrial para indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa es muy compleja, se tomarán estos datos del documento de Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático en la Isla de Santa Cruz de Galápagos, elaborado para CAF-Banco de Desarrollo de América Latina (FIC, 2019).

En ese estudio se desarrollan diversos indicadores, algunos de los cuales son relevantes para el estudio del riesgo por encharcamiento. Por ello, se tomarán los resultados únicamente de los indicadores que se ajusten al área de estudio, y se determinarán finalmente índices de sensibilidad y capacidad adaptativa a partir de estos resultados.

### 7.4.1 Análisis de sensibilidad

El estudio desarrollado para CAF trata tres dimensiones en el análisis de la sensibilidad climática derivada de la ocurrencia de amenazas hidrometeorológicas para toda la Isla de Santa Cruz, y que son económica, social y ambiental (FIC, 2019). Mientras que los factores económico y social son de alta relevancia en el área de estudio y se presentan datos a nivel de barrio, la dimensión ambiental está más enfocada a las áreas rurales y los resultados no están detallados por barrios. No obstante, algunos indicadores sí son determinantes para la obtención del grado de sensibilidad del área.

A continuación, se detallan los indicadores principales referentes a cada dimensión de análisis, y los resultados derivados de ellos. En la mayoría de los casos, los datos son aproximados ya que FIC (2019) los presenta en rangos. Los resultados para cada barrio se normalizarán al igual que se ha hecho en el cálculo del índice de exposición.

#### 7.4.1.1 Indicadores relacionados con factores sociales

Las características de la población influyen notablemente en la magnitud del impacto que experimenta como consecuencia del cambio climático, ya que determina la posibilidad y el grado en el que las amenazas hidrometeorológicas afectan a los sistemas humanos existentes (FIC, 2019). Por ello, se analizan aspectos de sensibilidad relacionados con la salud, pobreza, conocimiento, infraestructura, desplazamiento y presiones demográficas.

Los indicadores tomados para esta fase del análisis son los siguientes:

#### 7.4.1.1.1 Densidad de población neta (hab/ha)

Una mayor densidad de población implica que un peligro, como es el caso de los encharcamientos, pueda ocasionar un mayor impacto en cuanto a población afectada. Este indicador se ha calculado como el cociente entre el número total de habitantes por manzana y su superficie en hectáreas.

Los resultados de este indicador muestran que los barrios de *Miraflores* y *La Alborada* tienen una densidad demográfica mayor, por lo que serían los más sensibles por este criterio. Por su parte, el valor más bajo se encuentra en *Pelican Bay*.

Tabla 54. Indicador sensibilidad por densidad de población

Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	Densidad de población (hab/ha)	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	49,92	0,47
Miraflores	94,83	0,90
El Edén	52,94	0,50
Las Acacias	74,35	0,70
La Alborada	105,73	1,00
Central	34,38	0,33
Las Ninfas	30,14	0,29
Pelican Bay	19,71	0,19

#### 7.4.1.1.2 Presencia de población anciana (%)

Este indicador identifica el conjunto de la población que se considera más sensible al cambio climático a causa de su edad. Generalmente, este segmento de la población cuenta con menos recursos y más problemas de salud, lo que dificulta su actuación en caso de emergencia. En el área de estudio, es el barrio *Central* el que presenta más población anciana, con un 11% de su población total. Le siguen *Pelican Bay* y *Las Ninfas* con un valor de entorno al 8%.

Tabla 55. Indicador sensibilidad por presencia de población anciana

Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	% población anciana	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	4,00	0,36
Miraflores	4,00	0,36
El Edén	4,00	0,36
Las Acacias	4,00	0,36
La Alborada	4,00	0,36
Central	11,00	1,00
Las Ninfas	30,14	0,73
Pelican Bay	19,71	0,73

#### 7.4.1.1.3 Presencia de niños de edad menor o igual a 5 años (%)

Este indicador estima la proporción de niños de corta edad en el barrio respecto al total de la población. Es importante estudiar este factor dada la vulnerabilidad de este sector de la población. En Puerto Ayora, los valores más altos se dan en *Pampas Coloradas* y en *La Alborada* (12 y 11% de la población total respectivamente). Los valores más bajos se presentan en *Pelican Bay*.

Tabla 56. Indicador sensibilidad por presencia de niños menores de 5 años  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	% población < 5 años	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	11,00	1,00
Miraflores	9,75	0,89
El Edén	9,75	0,89
Las Acacias	9,75	0,89
La Alborada	11,00	1,00
Central	11,00	1,00
Las Ninfas	9,75	0,89
Pelican Bay	4,50	0,41

#### 7.4.1.1.4 Presencia de población discapacitada (%)

Identifica al conjunto de la población que se considera más sensible al cambio climático por padecer alguna discapacidad de carácter físico o mental, que ocasiona una reducción de su capacidad de respuesta ante impactos del cambio climático. La mayor incidencia se encuentra en el barrio *Central*, seguido por *Pampas Coloradas*.

Tabla 57. Indicador sensibilidad por presencia de población discapacitada  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	% población discapacitada	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	3,25	0,65
Miraflores	2,00	0,40
El Edén	2,00	0,40
Las Acacias	0,75	0,15
La Alborada	2,00	0,40
Central	5,00	1,00
Las Ninfas	2,00	0,40
Pelican Bay	0,75	0,15

#### 7.4.1.1.5 Tasa de población analfabeta (%)

Este indicador muestra el porcentaje de población mayor o igual a 15 años que no puede leer y escribir. Cuanto mayor es la tasa de analfabetismo, menores son las herramientas de las que se dispone para hacer frente a los impactos del cambio climático. Además, las oportunidades laborales se reducen drásticamente, y con ello la posibilidad de mayores ingresos y mejores medios de subsistencia, todo ello imprescindible para una mejor

adaptación al cambio climático. Puerto Ayora presenta niveles de analfabetismo por debajo de la media de Santa Cruz, siendo *Pampas Coloradas*, *Miraflores* y *La Alborada* los barrios con mayor tasa (entre el 1,8 y el 3%).

Tabla 58. Indicador sensibilidad por población analfabeta  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	% población analfabeta	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	2,25	1,00
Miraflores	2,25	1,00
El Edén	1,00	0,44
Las Acacias	0,25	0,11
La Alborada	2,25	1,00
Central	1,00	0,44
Las Ninfas	1,00	0,44
Pelican Bay	0,25	0,11

#### 7.4.1.1.6 Presencia de población sin afiliación al sistema sanitario (%)

Los sistemas de salud son indicadores del desarrollo socioeconómico efectivo de las áreas pobladas. El aumento de eventos extremos puede afectar a la salud de la población y una baja tasa de afiliación al sistema sanitario puede poner de manifiesto una atención deficitaria y una respuesta sanitaria ineficiente. Puerto Ayora alcanza la mayor tasa de población no afiliada en los barrios costeros, como *Pelican Bay*, con un valor del 71%, seguido de *Central*, *Las Acacias* o *El Edén*, entorno a un 56%.

Tabla 59. Indicador sensibilidad por población sin afiliación al sistema sanitario  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	% población sin afiliación al sistema sanitario	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	42,50	0,60
Miraflores	42,50	0,60
El Edén	56,00	0,79
Las Acacias	56,00	0,79
La Alborada	42,50	0,60
Central	56,00	0,79
Las Ninfas	42,50	0,60
Pelican Bay	71,00	1,00

#### 7.4.1.1.7 Acceso al servicio de abastecimiento de agua por red pública (%)

Representa el porcentaje de viviendas desprovistas de acceso al sistema público de abastecimiento de agua. Este indicador da una idea de la falta de servicios sociales básicos en Santa Cruz, lo que tiene una fuerte repercusión en la salud y bienestar de la población. Los resultados indican que los barrios más afectados por esta carencia son *Central* y *Pelican Bay*, con valores entre el 40 y el 60% de sus viviendas desprovistas de un sistema de abastecimiento de agua por red pública.

Tabla 60. Indicador sensibilidad por falta de acceso a red pública de agua  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	% sin acceso a red pública de agua	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	12,50	0,25
Miraflores	12,50	0,25
El Edén	32,50	0,65
Las Acacias	32,50	0,65
La Alborada	12,50	0,25
Central	50,00	1,00
Las Ninfas	32,50	0,65
Pelican Bay	50,00	1,00

#### 7.4.1.1.8 Déficit constructivo en paredes y pisos (%)

Este indicador busca cuantificar la calidad de las viviendas. Una tasa alta de población que resida en viviendas de mala construcción o mantenimiento, refleja una falta de recursos sociales, apoyo técnico o insuficiencia de empleo, por lo que se puede considerar más sensible a los impactos del cambio climático. Este indicador tiene importancia baja o nula en la zona de estudio, aunque las mayores tasas se encuentran en *Las Ninfas* (1-4%) y *Central* (0,5-1%).

Tabla 61. Indicador sensibilidad por viviendas con déficit constructivo  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	% viviendas con déficits constructivos	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	0,25	0,10
Miraflores	0,25	0,10
El Edén	0,25	0,10
Las Acacias	0,25	0,10
La Alborada	0,25	0,10
Central	0,75	0,30
Las Ninfas	2,50	1,00
Pelican Bay	0,25	0,10

#### 7.4.1.1.9 Hogares hacinados (%)

Un hogar se encuentra hacinado si la relación entre número de personas y número de dormitorios es mayor a tres o en el caso de no existir ningún dormitorio exclusivo para dormir. El hacinamiento puede provocar problemas de salud y es una medida de la calidad y adecuación de la vivienda. En el área de estudio, los mayores valores se encuentran en *Miraflores*, con más del 25% de hogares hacinados.



Tabla 62. Indicador sensibilidad por hogares hacinados  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	% de hogares hacinados	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	21,00	0,71
Miraflores	29,50	1,00
El Edén	6,00	0,20
Las Acacias	21,00	0,71
La Alborada	21,00	0,71
Central	14,50	0,49
Las Ninfas	14,50	0,49
Pelican Bay	14,50	0,49

#### 7.4.1.2 Indicadores relacionados con factores económicos

Según FIC (2019), la alta afluencia turística que recibe Santa Cruz tiene una repercusión sobre el modo de vida insular y sobre la estructura económica de la isla. Se estima que las actividades de alojamiento, comida y transporte acogen al 40% de la población activa de la isla y representan más del 75% de su economía (WWF y CI, 2011). Además, el turismo trae consigo otras actividades como las inmobiliarias, el comercio al por menor, el sector servicios o la recreación, por lo que el sector turístico se puede considerar el más importante de la isla, y especialmente en Puerto Ayora.

El sector agropecuario es la segunda actividad más importante que se lleva a cabo en la isla, no obstante, su tendencia es a la baja. Puesto que esta actividad no es de relevancia en el área de estudio, no se detallarán los indicadores derivados de ella.

A continuación, se exponen los indicadores usados por FIC (2019) para la determinación de la sensibilidad de Santa Cruz desde el punto de vista económico.

##### 7.4.1.2.1 Dependencia climática sectorial – turismo (%)

En Santa Cruz el turismo está fuertemente ligado a los valores ambientales, la conservación de los ecosistemas y la presencia de numerosas especies endémicas de flora y fauna. Estos valores son extremadamente sensibles a eventos extremos del clima, y la pérdida de este valor ambiental tendrá una repercusión directa en el desarrollo económico de la isla. Puerto Ayora, como área fuertemente dependiente del turismo, es, por tanto, sensible a las amenazas climáticas. Dentro del área de estudio, destacan los barrios *Central*, *Las Ninfas* y *La Alborada* como aquellos barrios donde la tasa de empleo en actividades turísticas es mayor (entre el 30 y 40% de sus habitantes).

Tabla 63. Indicador sensibilidad por dependencia del turismo  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	% población dependiente del sector turístico	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	27,50	0,79
Miraflores	27,50	0,79
El Edén	12,50	0,36
Las Acacias	27,50	0,79
La Alborada	35,00	1,00
Central	35,00	1,00
Las Ninfas	35,00	1,00
Pelican Bay	27,50	0,79

#### 7.4.1.2.2 Desempleo (%)

El desempleo es desencadenante directo de circunstancias de exclusión social y pobreza. En Puerto Ayora los valores medios se mantienen similares a la media de la isla, siendo especialmente bajos en los barrios de estudio en concreto. *Pampas Coloradas*, *Las Acacias* y *Pelican Bay* presentan las mayores tasas de desempleo, situándose entre el 2 y el 3% de la población activa.

Tabla 64. Indicador sensibilidad por población desempleada  
Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019).

Barrio	% población desempleada	Índice sensibilidad [0-1]
Pampas Coloradas	2,50	1,00
Miraflores	1,00	0,40
El Edén	1,00	0,40
Las Acacias	2,50	1,00
La Alborada	1,00	0,40
Central	1,00	0,40
Las Ninfas	1,00	0,40
Pelican Bay	2,50	1,00

#### 7.4.1.3 Indicadores relacionados con factores ambientales

En el cálculo de la sensibilidad de Santa Cruz, FIC (2019) ha tenido en cuenta factores ambientales, tales como la presencia de especies invasoras, estrés hídrico sobre la cobertura vegetal. Aunque estos no tienen un impacto directo sobre los barrios de estudio al tratarse de suelo urbano consolidado, existen indicadores ambientales que tienen influencia en estas zonas.

#### 7.4.1.3.1 Índice de presión turística socio-ambiental (plazas/100 hab; plazas/km<sup>2</sup>)

Refleja el riesgo de saturación de la capacidad de carga de un destino turístico, es decir, el número de personas que pueden visitar un lugar al mismo tiempo sin causar daños físicos, económicos, socioculturales o ambientales, y sin mermar la satisfacción de los visitantes. Este riesgo se debe a los efectos negativos que genera la presión turística excesiva sobre la calidad del medio ambiente, la población local y los propios turistas. No se tienen datos a nivel barrial para este indicador, pero la ciudad de Puerto Ayora presenta valores por encima del umbral de sostenibilidad ambiental, lo que indica que la presión turística es considerablemente alta.

#### 7.4.1.3.2 Contaminación de aguas subterráneas

Es un indicador del nivel de contaminación del acuífero basal por bacteria *Echerichia coli*. Santa Cruz sufre contaminación de las aguas subterráneas debido a que los acuíferos se localizan debajo de asentamientos humanos, como Puerto Ayora, carente de un sistema de alcantarillado. La población depende de estos acuíferos para el consumo, por lo que la contaminación provoca un grave problema de disponibilidad.

No se detallan resultados de estos indicadores a nivel barrial, por lo que se asignará el valor máximo a todos los barrios. Por lo tanto, el análisis de sensibilidad por factores ambientales, no tendrá impacto sobre el resultado normalizado final del índice de sensibilidad.

#### 7.4.1.4 Resultados del índice de sensibilidad

A continuación, se pueden ver el resultado conjunto de los nueve indicadores de sensibilidad basados en factores sociales, los dos indicadores basados en factores económicos y el valor asignado a la sensibilidad por factores ambientales, así como el sumatorio de estos resultados.

Tabla 65. Sumatorio de resultados de indicadores de sensibilidad por barrio  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Sumatorio índices sensibilidad de indicadores sociales	Sumatorio índices sensibilidad de indicadores económicos	Índice sensibilidad de indicadores ambientales	Sumatorio de índices por barrios
Pampas Coloradas	5,15	1,79	1,00	7,93
Miraflores	5,50	1,19	1,00	7,68
El Edén	4,34	0,76	1,00	6,09
Las Acacias	4,46	1,79	1,00	7,25
La Alborada	5,42	1,40	1,00	7,82
Central	6,35	1,40	1,00	8,75
Las Ninfas	5,48	1,40	1,00	7,88
Pelican Bay	4,18	1,79	1,00	6,96

El valor conjunto presentado en la tabla anterior permite realizar una normalización de los resultados, de manera que se puedan comparar los datos por barrios. Finalmente, se

presenta una clasificación de sensibilidad que hará más sencilla la visualización de los resultados de los sistemas expuestos:

- Índice de sensibilidad entre 0 y 0,80: sensibilidad baja.
- Índice de sensibilidad entre 0,80 y 0,90: sensibilidad media.
- Índice de sensibilidad entre 0,90 y 1: sensibilidad alta.

Tabla 66. Clasificación de cada barrio en función de su sensibilidad  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Índice sensibilidad final [0-1]	Clasificación de la sensibilidad
<b>Pampas Coloradas</b>	0,91	<b>ALTA</b>
<b>Miraflores</b>	0,88	<b>MEDIA</b>
<b>El Edén</b>	0,70	<b>BAJA</b>
<b>Las Acacias</b>	0,83	<b>MEDIA</b>
<b>La Alborada</b>	0,89	<b>MEDIA</b>
<b>Central</b>	1,00	<b>ALTA</b>
<b>Las Ninfas</b>	0,90	<b>ALTA</b>
<b>Pelican Bay</b>	0,80	<b>BAJA</b>

Se observa que el barrio más sensible es el *Central*, que además es uno de los más expuestos, como se ha visto en la Figura 37. También, la zona más occidental del área de estudio presenta una sensibilidad importante, especialmente el barrio de *Pampas Coloradas*. Sin embargo, las zonas este y norte (*El Edén* y *Pelican Bay*), presentan una sensibilidad relativamente baja.

#### 7.4.2 Análisis de capacidad de adaptación

FIC (2019) mide la capacidad de adaptación en función de cuatro factores: información, sensibilización y conocimiento de la población y las instituciones públicas sobre el cambio climático y sus consecuencias; actores y gobernanza; disponibilidad de planes y procedimientos en relación con el cambio climático y la gestión de desastres; y prioridad de inversión en infraestructura, salud, desarrollo económico, asistencia social, vivienda, educación y protección del medioambiente.

En base a estos factores, FIC (2019) ha elaborado indicadores, cuyo análisis permite evaluar la capacidad adaptativa de Puerto Ayora. No obstante, los resultados no están detallados a nivel barrial debido a que los indicadores utilizan información general para toda la isla. Por ello, el índice de capacidad adaptativa es común para todos los barrios y no se tendrá en cuenta a efectos de cálculo.

#### 7.4.3 Resultados del índice de vulnerabilidad

Los resultados del índice de vulnerabilidad para cada barrio se calculan en función de los índices de sensibilidad y capacidad adaptativa siguiendo la siguiente formulación (CIIFEN, 2018):

$$\text{Índice de vulnerabilidad} = \text{Sensibilidad} - \text{Capacidad adaptativa}$$

Como se ha explicado anteriormente, la capacidad adaptativa no se puede evaluar a nivel de barrio en este caso, por ello, la vulnerabilidad quedará definida únicamente por el factor sensibilidad. Por lo tanto, los resultados del índice de vulnerabilidad serán iguales que los de índice de sensibilidad calculado en la Tabla 66.

A continuación, se presenta una clasificación de vulnerabilidad, similar a la de la sensibilidad, que permite la visualización sobre el plano de los resultados de vulnerabilidad de los sistemas expuestos:

- Índice de vulnerabilidad entre 0 y 0,80: vulnerabilidad baja.
- Índice de vulnerabilidad entre 0,80 y 0,90: vulnerabilidad media.
- Índice de vulnerabilidad entre 0,90 y 1: vulnerabilidad alta.

*Tabla 67. Clasificación de cada barrio en función de su vulnerabilidad*  
 Fuente: elaboración propia.

Barrio	Índice vulnerabilidad [0-1]	Clasificación de la vulnerabilidad
<b>Pampas Coloradas</b>	0,91	<b>ALTA</b>
<b>Miraflores</b>	0,88	<b>MEDIA</b>
<b>El Edén</b>	0,70	<b>BAJA</b>
<b>Las Acacias</b>	0,83	<b>MEDIA</b>
<b>La Alborada</b>	0,89	<b>MEDIA</b>
<b>Central</b>	1,00	<b>ALTA</b>
<b>Las Ninfas</b>	0,90	<b>ALTA</b>
<b>Pelican Bay</b>	0,80	<b>BAJA</b>

La determinación del índice de vulnerabilidad asociado a las zonas de encharcamiento es ligeramente diferente, ya que, en este caso, el valor será aquel del barrio en el que se encuentren. La siguiente tabla muestra los índices de vulnerabilidad de cada zona.

*Tabla 68. Índice de vulnerabilidad por zonas de encharcamiento*  
 Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Índice de vulnerabilidad [0-1]	Nº zona	Índice de vulnerabilidad [0-1]
<b>1</b>	0,88	<b>16</b>	0,80
<b>2</b>	0,88	<b>17</b>	0,89
<b>3</b>	0,91	<b>18</b>	0,91
<b>4</b>	0,88	<b>19</b>	0,89
<b>5</b>	0,88	<b>20</b>	1,00
<b>6</b>	0,88	<b>21</b>	0,90
<b>7</b>	0,70	<b>22</b>	0,90
<b>8</b>	0,91	<b>23</b>	1,00
<b>9</b>	0,91	<b>24</b>	0,80
<b>10</b>	0,91	<b>25</b>	0,90
<b>11</b>	0,89	<b>26</b>	0,90
<b>12</b>	0,89	<b>27</b>	1,00
<b>13</b>	0,89	<b>28</b>	1,00
<b>14</b>	0,83	<b>29</b>	0,90
<b>15</b>	0,83		

La siguiente imagen refleja el nivel de vulnerabilidad asociado a las zonas de encharcamiento en base al barrio en que se encuentran.

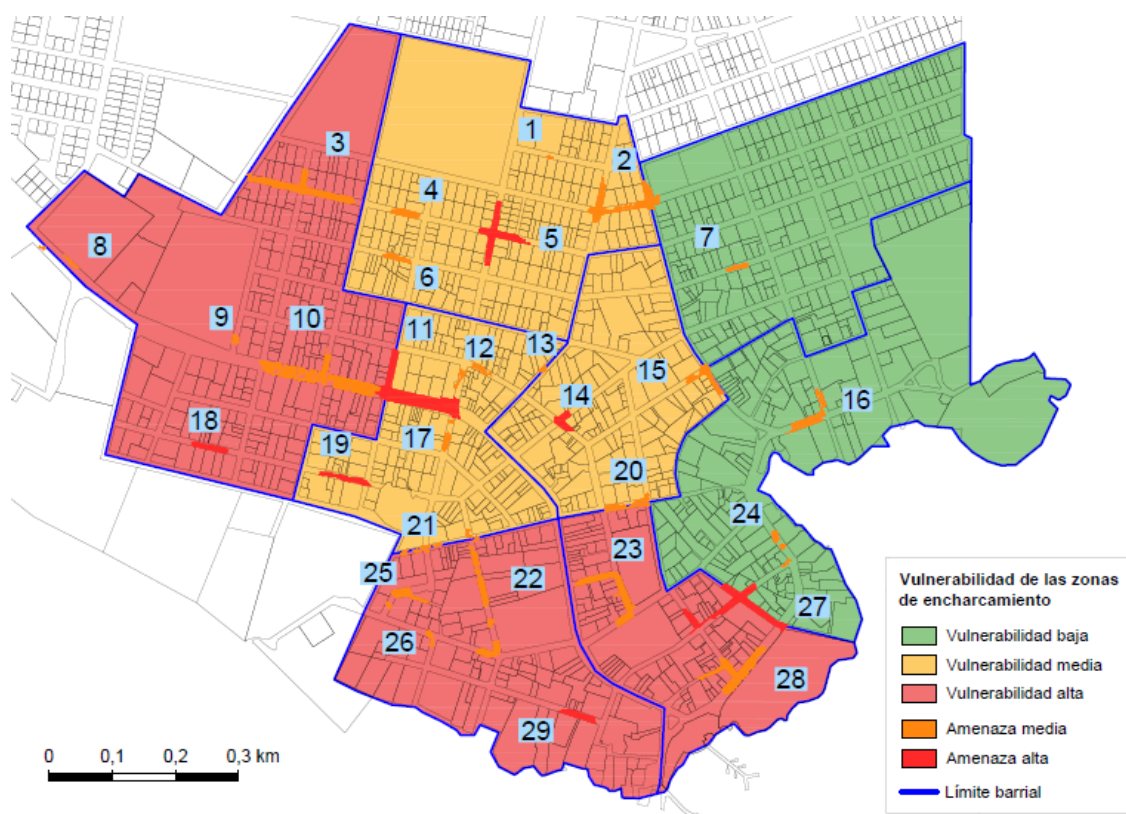


Figura 39. Nivel de vulnerabilidad total de las zonas de encharcamiento  
Fuente: elaboración propia.

## 7.5 Resultados del riesgo de encharcamiento

Los apartados anteriores han permitido evaluar la magnitud de la amenaza, la exposición y vulnerabilidad asociados a los barrios de estudio y zonas de encharcamiento existentes. La determinación de estos factores es necesaria para el cálculo del riesgo, siguiendo los criterios descritos por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático y formulada por diferentes instituciones (Naciones Unidas, 2016; Ihobe, 2019):

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Exposición} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Una vez conocida esta magnitud, se podrá determinar qué barrios y zonas requieren una actuación para reducir el efecto de los encharcamientos, priorizando esta elección en función del riesgo al que se vean sometidas.



### 7.5.1 Nivel de riesgo por barrios

Partiendo de los resultados de los índices de amenaza, exposición y vulnerabilidad por barrios (Tabla 25, Tabla 41 y Tabla 67 respectivamente). Se puede calcular el índice de riesgo como el producto de todos ellos. La siguiente tabla muestra los resultados de los tres índices y el resultado final que representa el riesgo asociado a cada barrio. Además, se establece la siguiente clasificación del riesgo para representar los resultados sobre el mapa:

- Resultado entre 0 y 0,20: riesgo bajo.
- Resultado entre 0,20 y 0,60: riesgo medio.
- Resultado entre 0,60 y 1: riesgo alto.

Tabla 69. Resultados y clasificación del riesgo por barrios  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo [0-1]	Clasificación riesgo
<b>Pampas Coloradas</b>	1,00	0,65	0,91	<b>0,59</b>	<b>MEDIO</b>
<b>Miraflores</b>	0,71	0,47	0,88	<b>0,30</b>	<b>MEDIO</b>
<b>El Edén</b>	0,09	0,13	0,70	<b>0,01</b>	<b>BAJO</b>
<b>Las Acacias</b>	0,27	0,22	0,83	<b>0,05</b>	<b>BAJO</b>
<b>La Alborada</b>	0,95	0,75	0,89	<b>0,64</b>	<b>ALTO</b>
<b>Central</b>	0,88	1,00	1,00	<b>0,88</b>	<b>ALTO</b>
<b>Las Ninfas</b>	0,45	0,27	0,90	<b>0,11</b>	<b>BAJO</b>
<b>Pelican Bay</b>	0,36	0,59	0,80	<b>0,17</b>	<b>BAJO</b>

La siguiente imagen muestra estos resultados sobre el plano:

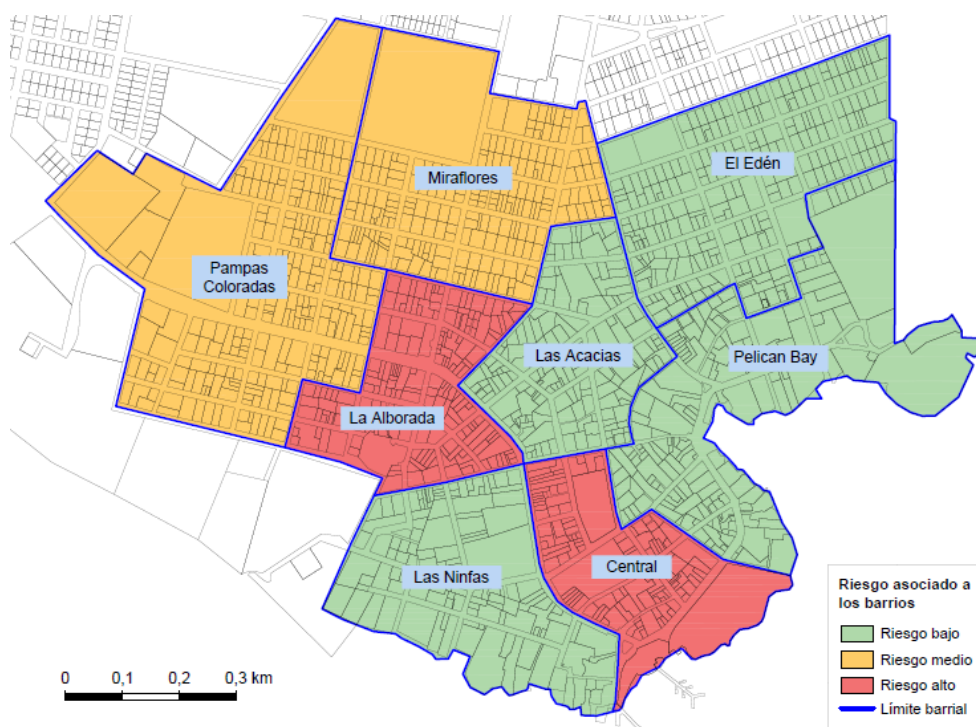


Figura 40. Nivel de riesgo por barrios  
Fuente: elaboración propia.

## 7.5.2 Nivel de riesgo por zonas de encharcamiento

Una vez conocidos los resultados de amenaza, exposición y vulnerabilidad para las zonas de encharcamiento (Tabla 28 a Tabla 35, Tabla 46 a Tabla 53, y Tabla 68), se puede calcular el riesgo tal como se muestra en las siguientes tablas. Además, se realiza la siguiente clasificación según la magnitud del riesgo:

- Resultado entre 0 y 0,01: riesgo incidental.
- Resultado entre 0,01 y 0,02: riesgo reducido.
- Resultado entre 0,02 y 0,10: riesgo moderado.
- Resultado entre 0,10 y 0,50: riesgo importante.
- Resultado entre 0,50 y 1: riesgo severo.

Tabla 70. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Pampas Coloradas  
Fuente: elaboración propia.

PAMPAS COLORADAS					
Nº zona	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo [0-1]	Clasificación riesgo
3	0,34	0,33	0,91	0,10	IMPORTANTE
8	0,03	0,06	0,91	0,00	INCIDENTAL
9	0,02	0,02	0,91	0,00	INCIDENTAL
10	0,53	0,54	0,91	0,26	IMPORTANTE
11	1,00	0,85	0,89	0,76	SEVERO
18	0,14	0,19	0,91	0,02	MODERADO

Tabla 71. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Miraflores  
Fuente: elaboración propia.

MIRAFLORES					
Nº zona	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo [0-1]	Clasificación riesgo
1	0,01	0,06	0,88	0,00	INCIDENTAL
2	0,33	0,40	0,88	0,12	IMPORTANTE
4	0,07	0,13	0,88	0,01	INCIDENTAL
5	0,49	0,52	0,88	0,22	IMPORTANTE
6	0,05	0,06	0,88	0,00	INCIDENTAL

Tabla 72. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de El Edén  
Fuente: elaboración propia.

EL EDÉN					
Nº zona	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo [0-1]	Clasificación riesgo
2	0,33	0,40	0,88	0,12	IMPORTANTE
7	0,04	0,11	0,70	0,00	INCIDENTAL

Tabla 73. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Las Acacias  
Fuente: elaboración propia.

LAS ACACIAS					
Nº zona	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo [0-1]	Clasificación riesgo
13	0,02	0,07	0,89	0,00	INCIDENTAL
14	0,15	0,15	0,83	0,02	REDUCIDO
15	0,12	0,17	0,83	0,02	REDUCIDO
20	0,12	0,08	1,00	0,01	REDUCIDO

Tabla 74. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de La Alborada  
Fuente: elaboración propia.

LA ALBORADA					
Nº zona	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo [0-1]	Clasificación riesgo
11	1,00	0,85	0,89	0,76	SEVERO
12	0,07	0,19	0,89	0,01	REDUCIDO
13	0,02	0,07	0,89	0,00	INCIDENTAL
17	0,05	0,13	0,89	0,01	INCIDENTAL
19	0,18	0,31	0,89	0,05	MODERADO
21	0,05	0,08	0,90	0,00	INCIDENTAL
22	0,25	0,23	0,90	0,05	MODERADO

Tabla 75. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Central  
Fuente: elaboración propia.

CENTRAL					
Nº zona	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo [0-1]	Clasificación riesgo
20	0,12	0,08	1,00	0,01	REDUCIDO
23	0,28	0,32	1,00	0,09	MODERADO
27	0,67	1,00	1,00	0,67	SEVERO
28	0,31	0,43	1,00	0,13	IMPORTANTE

Tabla 76. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Las Ninfas  
Fuente: elaboración propia.

LAS NINFAS					
Nº zona	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo [0-1]	Clasificación riesgo
21	0,05	0,08	0,90	0,00	INCIDENTAL
22	0,25	0,23	0,90	0,05	MODERADO
25	0,10	0,06	0,90	0,01	INCIDENTAL
26	0,04	0,02	0,90	0,00	INCIDENTAL
29	0,15	0,14	0,90	0,02	REDUCIDO

Tabla 77. Clasificación del nivel de riesgo a inundación en las zonas de encharcamiento de Pelican Bay  
Fuente: elaboración propia.

PELICAN BAY					
Nº zona	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo [0-1]	Clasificación riesgo
15	0,12	0,17	0,83	0,02	REDUCIDO
16	0,16	0,23	0,80	0,03	MODERADO
24	0,05	0,19	0,80	0,01	INCIDENTAL
27	0,67	1,00	1,00	0,67	SEVERO

La siguiente imagen muestra estos resultados sobre el plano:

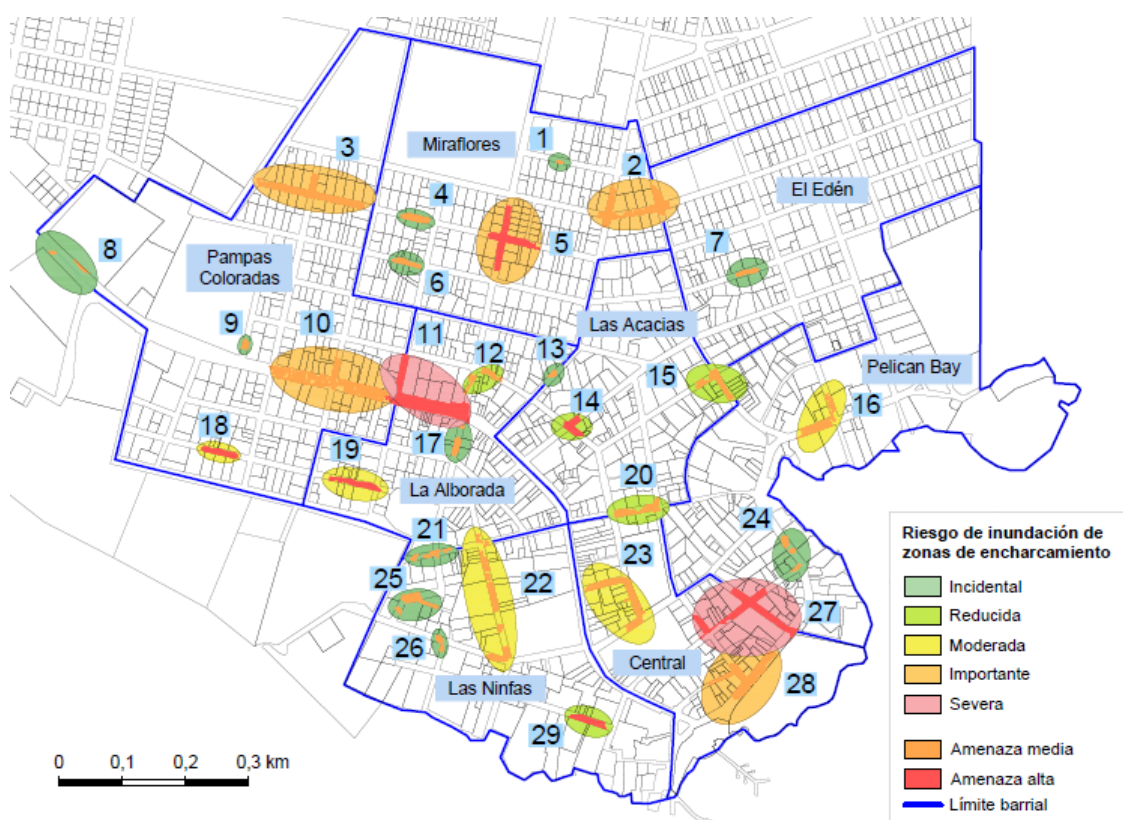


Figura 41. Nivel de riesgo por zonas de encharcamiento  
Fuente: elaboración propia.

### 7.5.3 Conclusiones del análisis de riesgo

Los resultados del análisis de riesgo tienen el objetivo de mostrar los puntos del área de estudio que pueden verse más afectados por la amenaza de encharcamiento. Como se ha visto, estos niveles son consecuencia de la exposición de los sistemas humanos y materiales existentes a eventos de lluvia extrema, que, además, presentan importantes debilidades en las dimensiones social y económica.

La exposición de barrios como *La Alborada* o *Central* supera considerablemente a la de los demás, siendo estos importantes puntos residenciales, comerciales, turísticos y de servicios. De esto se deriva que, no solo existe una afección hacia la población residente en cuanto a vivienda, servicios y comercios, sino que la actividad económica principal, que es el turismo, puede verse gravemente afectada durante episodios de encharcamiento.

A nivel de sensibilidad socioeconómica, el área de estudio presenta importantes problemas en ciertos barrios, tales como las altas densidades poblacionales y la existencia de hogares hacinados, que claramente son un factor negativo de cara a conseguir una adaptación satisfactoria al cambio climático, y en particular a las inundaciones.

Además, gran cantidad de viviendas carecen de servicios básicos, como abastecimiento de agua potable o un sistema de gestión de aguas residuales por falta de alcantarillado en la ciudad, esta carencia denota una mala calidad de la vivienda y escasez de recursos de sus habitantes. Asimismo, los barrios costeros tienen altas tasas de población anciana, sensible debido a su edad e incapaz de afrontar los daños físicos y económicos derivados de las amenazas.

Como se puede ver, los altos niveles de exposición de población, equipamientos e infraestructura, junto con la fragilidad social y económica, hace que las consecuencias de los potenciales encharcamientos sean mayores en los barrios más occidentales (*Pampas Coloradas, La Alborada y Miraflores*) y el sector costero central (barrio *Central*).

Por ello, queda patente la necesidad de una planificación urbana sostenible para la “construcción de un territorio resiliente, mediante la implementación de planes, políticas, estrategias y programas con el objetivo de reducir la fragilidad” (FIC, 2019, p.252), reduciendo las tasas de exposición y sensibilidad y aumentando la capacidad de adaptación del área.

Los 17 indicadores expuestos a lo largo de este análisis permiten ahora proponer actuaciones orientadas a reducir los daños e impactos previsibles de los encharcamientos. Las medidas deben enfocarse en la reducción de la exposición y la amenaza, minimizando los impactos asociados a población, infraestructura y equipamientos. Por ello, algunas de las medidas a tener en cuenta podrían incluir la construcción de sistema de drenaje y evacuación de aguas pluviales en los viales que presentan peligro de encharcamiento, la recolección de la escorrentía en las cotas más bajas, o el control de las transformaciones llevadas a cabo en las zonas urbanas, altamente impermeabilizadas.

La reducción del índice de sensibilidad está fuera del alcance de este trabajo. No obstante, se deberían tomar ciertas medidas tales como la satisfacción de las necesidades básicas de la población más vulnerable, la mejora de la gestión del abastecimiento de agua potable y la construcción del alcantarillado. Asimismo, debe fomentarse el aumento de la capacidad de respuesta de la sociedad mediante el aumento del nivel educativo, y reducir las desigualdades mediante mejoras del acceso al empleo (FIC, 2019). Además, en aquellos puntos donde los encharcamientos puedan tener un efecto negativo sobre la actividad turística, deberán implementarse políticas que apoyen el comercio local (FIC, 2019).

## 8 Medidas de adaptación

El estudio y la selección de medidas de adaptación debe enfocarse hacia aquellas acciones que reduzcan la amenaza y la exposición física a las inundaciones, pero también a las estrategias que disminuyan el índice de sensibilidad de la población afectada. De esta manera se conseguirá el objetivo último de la aplicación de medidas, que es reducir el riesgo que pesa sobre una zona urbana por causa de una amenaza determinada.

En el caso de los encharcamientos de Puerto Ayora, se propone la aplicación de medidas a ciertos barrios seleccionados acorde con los resultados del análisis de riesgos previo. Estas zonas actuarán como áreas “piloto”, de manera que se pueda analizar la efectividad de las medidas en diferentes situaciones y extrapolar los resultados al resto de zonas afectadas. Así, se definirán medidas que se ajusten a las características de estos barrios, cuyo modo de implementación se detallará, así como la justificación de su aplicación.

Entre las medidas de adaptación contempladas se encuentra la protección e incremento de zonas verdes de las ciudades mediante las infraestructuras verdes. Se trata de una estrategia fundamental para el desarrollo sostenible de las áreas urbanas, lo que concuerda con las recomendaciones sugeridas por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). Además, las prácticas del tipo *low-regret*, producen beneficios incluso en ausencia de cambio climático y su coste de implantación es considerablemente bajo si se compara con los beneficios que representa (Sturiale y Scuderi, 2019). Se tienen también en consideración las conclusiones de estudios previos, que identifican la infraestructura verde como herramienta de gran eficacia para adaptarse a los nuevos impactos emergentes e irreversibles del cambio climático, siendo más eficaces a escala local si se combinan con la tradicional infraestructura gris, consiguiendo mayor sostenibilidad y resiliencia en las ciudades (Sturiale y Scuderi, 2019).

### 8.1 Ámbito de aplicación

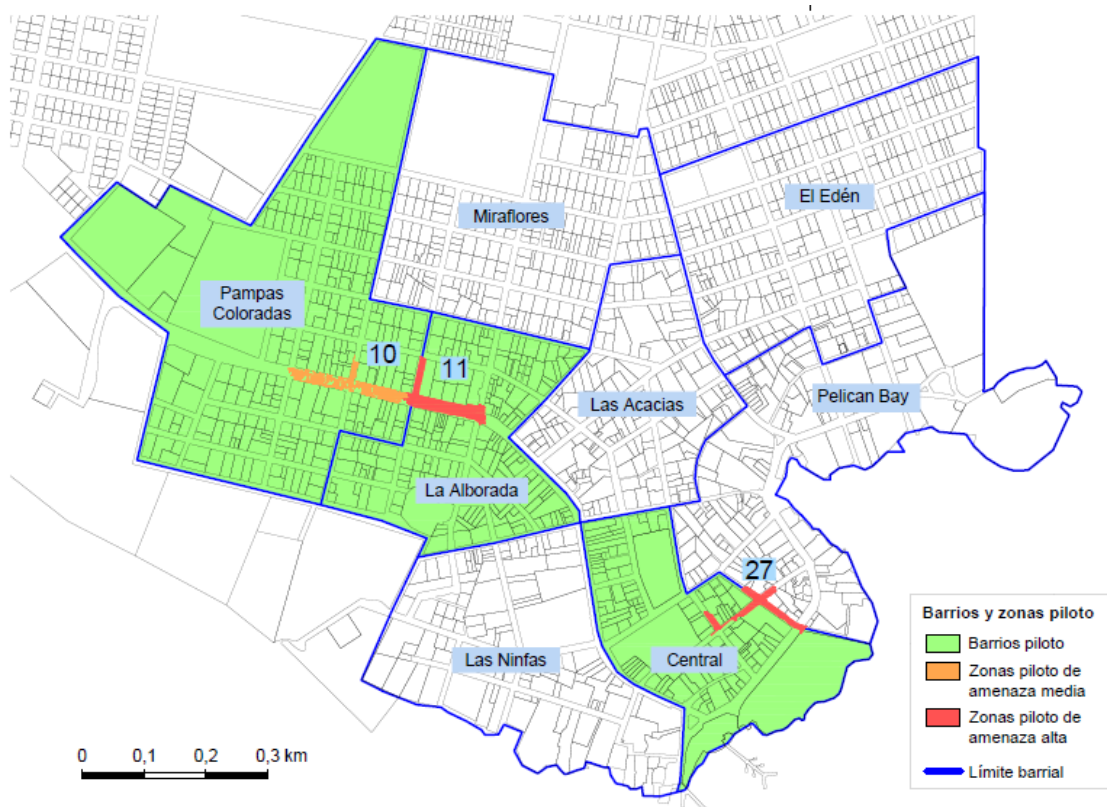
Las medidas de adaptación se aplicarán sobre unas zonas de encharcamiento concretas, a modo de “casos piloto”. Se explicará en detalle su aplicación, así como los resultados que se obtengan en forma de reducción del índice de riesgo calculado anteriormente. De esta forma quedarán definidas ciertas medidas tipo que podrán ser exportadas al resto de área de estudio en caso de demostrarse su utilidad en la reducción del riesgo por encharcamiento.

Para definir sobre qué zonas se debe actuar se recurre a los resultados de riesgo expresados en la Tabla 69 y la Figura 40. En ellas queda patente que el barrio *Central* presenta resultados considerablemente peores que el resto, por lo que aplicar medidas en esta zona sería de suma importancia. Asimismo, los barrios de *La Alborada* y *Pampas Coloradas*, segundo y tercero en cuanto a nivel de riesgo, también serán estudiados.

Tomar distintos barrios como referencia para la aplicación de las medidas presenta una clara ventaja. Permite comprobar la eficacia de las medidas de adaptación en puntos de naturaleza muy distinta, de forma que se pueda garantizar su utilidad antes de aplicarlas de forma general en toda el área de estudio.



Por lo tanto, se estudiarán medidas de adaptación a encharcamientos en las zonas 10, 11 y 27, ubicadas, en su mayor parte, en los barrios de *Pampas Coloradas*, *La Alborada* y *Central*, respectivamente. El siguiente mapa muestra cuáles serán las zonas de actuación.



*Figura 42. Barrios y zonas piloto para la aplicación de medidas de adaptación*  
*Fuente: elaboración propia.*

## 8.2 Propuesta de medidas de adaptación a encharcamiento

La finalidad de las medidas de adaptación es reducir el índice de riesgo que presentan los sistemas existentes a causa de una amenaza. Por lo tanto, las medidas de adaptación actuarán sobre el riesgo y, por consiguiente, sobre los factores que lo determinan. De esta forma, se pueden proponer medidas enfocadas a la reducción de la amenaza, la exposición o la vulnerabilidad, bien por separado, o combinadas entre sí. En definitiva, cualquier variación de estos tres aspectos a consecuencia de las medidas aplicadas, tendrá una repercusión sobre el nivel de riesgo.

En los siguientes apartados se proponen medidas de adaptación a inundaciones en el entorno urbano de Puerto Ayora, enfocadas en los distintos aspectos que determinan el riesgo, así como la justificación de la estrategia que se considera más favorable para este caso en cuestión.

### 8.2.1 Medidas para la reducción del factor amenaza

La reducción del factor amenaza viene ligado a la disminución del área de encharcamiento. Es por ello que las medidas a tomar estarán basadas fundamentalmente en la construcción de infraestructura, priorizando las medidas de carácter verde e híbrido sobre las grises. FIC (2019) define estos conceptos de la siguiente manera:

- Medidas verdes: se trata de infraestructura basada en los ecosistemas, cuya función es aumentar la resiliencia urbana.
- Medidas grises: obras de ingeniería civil cuya función es minimizar los efectos del riesgo.
- Medidas híbridas: combinación de las anteriores.

Por ello y para el caso concreto de los barrios “piloto”, se plantean medidas basadas en la construcción de infraestructura verde o híbrida, en la que el ecosistema juega un papel principal. En este sentido, se trabajará con dos ideas principales: la construcción de pozos de infiltración para reducir la magnitud de los encharcamientos y el uso de las parcelas no edificadas para desarrollar más zonas verdes y que tengan la capacidad de captar parte de la escorrentía. Ambas medidas, y en especial la primera de ellas, son estrategias también identificadas por los técnicos locales del Gobierno Autónomo, con quienes se ha tenido la oportunidad de compartir esta información para adecuar el estudio a la realidad local en la medida de lo posible.

#### 8.2.1.1 Construcción de pozos profundos de infiltración

Como se ha mencionado anteriormente, Puerto Ayora carece de sistemas de alcantarillado y de aguas pluviales. Existen proyectos previos en los que se desarrollan sistemas de saneamiento convencionales, pero que por diferentes razones no se han conseguido finalizar de forma satisfactoria. Uno de los motivos, expresado en un Informe Municipal<sup>2</sup>, está relacionado con la naturaleza del terreno de la isla.

Por un lado, el proceso de apertura de zanjas es muy lento debido al suelo rocoso, lo que provoca un avance mínimo de las obras, además el cubrimiento de las tuberías se realiza con material rocoso sin clasificar, que afecta a la estructura y la forma de la instalación. Por otro lado, la permeabilidad de los materiales es muy baja, lo que dificulta la infiltración del agua de lluvia.

A la vista de los múltiples problemas constructivos, el Gobierno de la isla ha optado por limitar la aplicación de sistemas de saneamiento convencionales únicamente a las zonas residenciales. No obstante, las soluciones que se plantean para un sistema de aguas pluviales que recoja el agua de escorrentía disminuyendo los riesgos de encharcamiento son escasas. Únicamente se propone el uso de sistemas de infiltración, tales como pozos profundos.

Conocidos los problemas que acarrea la canalización del sistema de alcantarillado debido al tipo de suelo, el Municipio no contemplaría el planteamiento de un sistema de aguas

---

<sup>2</sup> Informe de los 30 primeros días de gestión de la Administración de 2019-2023 elaborado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Santa Cruz (2019)

pluviales paralelo a la red de saneamiento en desarrollo, por ello, el sistema de pozos de infiltración suscita gran interés por parte del Gobierno.

Además, existen diversos estudios que avalan el uso de pozos profundos de infiltración con el objetivo de reducir los caudales de escorrentías, tales como el realizado por Yoo, Ku, Jun y Zhu, (2016). En él se analizan cuatro sistemas de infiltración: pavimentos permeables, canales, zanjas y pozos de infiltración, y se modelizan para comparar la reducción de escorrentía derivado de cada uno. Los resultados indican que los pozos de infiltración son los sistemas más eficientes y económicos.

Por esta razón se profundiza en el estudio de la solución de pozos profundos de infiltración, aplicados a barrios concretos, de manera que se pueda comprobar su eficacia en cuanto a la reducción del riesgo de encharcamiento en los barrios de referencia.

#### *8.2.1.2 Aumento del área de zonas verdes*

El desarrollo urbano de Puerto Ayora, como el de cualquier otra ciudad, ha provocado la pérdida de superficies verdes y su sustitución por áreas impermeabilizadas. De esta manera, se ha reducido progresivamente la capacidad de infiltración del suelo, de forma que, tras episodios de fuertes precipitaciones, el agua no puede filtrarse al suelo y discurre por los viales en forma de escorrentía. Así, los grandes volúmenes de escorrentía terminan almacenados en los puntos bajos de las calles, dando lugar a inundaciones de diferente magnitud.

Los eventos de precipitación extrema son cada vez más frecuentes en Puerto Ayora, propiciados por el cambio climático. Esto hace que la ocurrencia de encharcamientos urbanos sea más habitual y también que su magnitud y consecuencias sean más severas.

Por otro lado, el desarrollo de la ciudad ha incrementado el grado de contaminación del entorno urbano. Esta contaminación queda acumulada en los viales, y es arrastrada por la escorrentía hacia el acuífero receptor de la escorrentía.

Puerto Ayora necesita implementar un sistema que solucione los problemas causados por la excesiva escorrentía y por el arrastre de contaminantes. Una alternativa que puede resultar técnica y económicamente viable es la construcción de mayor número de espacios verdes repartidos por la ciudad. De esta manera, se aumenta la cantidad de suelo altamente permeable, capaz de interceptar la escorrentía e infiltrarla a las capas inferiores del suelo. Además, estos sistemas pueden actuar como tratamiento de eliminación de contaminantes, que quedan retenido durante la filtración.

El desarrollo de este sistema pasa por identificar y delimitar las parcelas vacías existentes en Puerto Ayora y que estén próximas a zonas donde exista un problema de encharcamiento. En estos lugares se podrá crear una red de espacios libres conectados entre sí, que permitan la gestión de las aguas de escorrentía de forma totalmente integrada en el paisaje y haciendo uso de los ecosistemas.

En combinación con el sistema de pozos profundos de infiltración, los espacios verdes pueden contribuir notablemente a la reducción de los encharcamientos en Puerto Ayora. Además, diversos estudios avalan su utilización, presentando grandes ventajas económicas y técnicas sobre otros sistemas.

### 8.2.2 Medidas para la reducción del factor exposición

La reducción de la exposición está directamente vinculada a la disminución de la amenaza. Así, las medidas planteadas en el apartado anterior deberían variar positivamente el índice de exposición inicial, ya que, si se reduce la superficie encharcada, menor cantidad de viviendas, equipamientos e infraestructura vial se verán directamente afectados, y menor será la incidencia de la amenaza sobre estos sistemas.

No obstante, existen otros métodos de reducción de la exposición basados en cambios normativos que deben ser promovidos por el Municipio. Una solución para el caso de estudio, sería la reubicación de equipamientos, servicios y comercios potencialmente afectados a lugares no amenazados, o con menor probabilidad de encharcamiento. Esta medida sería aplicable en casos donde no fuera posible dar solución a los problemas de encharcamiento mediante las medidas de reducción de amenaza ya descritas.

Por otro lado, el Municipio debería promover el desarrollo de normativa que evite el emplazamiento de nuevos sistemas en zonas propensas a encharcamiento con el fin de no aumentar la exposición existente en la actualidad.

### 8.2.3 Medidas para la reducción del factor vulnerabilidad

Las medidas basadas en la ordenación y planificación urbana tienen la función de prevenir el riesgo, disminuyendo tanto la exposición, como la sensibilidad a las amenazas. Por ello, la medida de reubicación de sistemas expuestos puede conseguir, no solo disminuir exposición, sino también mejorar el índice de sensibilidad de los residentes, haciéndolos menos vulnerables, bien sea porque han podido asentarse en un barrio con características más favorables, o porque la nueva vivienda sea más adecuada.

El Municipio puede tomar otras medidas basadas en la planificación con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad. El análisis de sensibilidad indicó que las carencias en las viviendas son una de las razones de la alta vulnerabilidad de la población a las inundaciones. Por ello, se podrían tomar acciones con el fin de mejorar los edificios existentes.

Además, FIC (2019) propone una serie de medidas de carácter social, económico y ambiental para reducir la vulnerabilidad de la población. Algunas de ellas son:

- Reducción de la pobreza y necesidades básicas insatisfechas.
- Aumento de la capacidad de respuesta.
- Reducción de desigualdades.
- Adecuación de la infraestructura local.
- Mejora de la competencia comercial a nivel local.
- Reducción de los niveles de contaminación hídrica.
- Mejora de la información y capacitación.
- Conservación y protección del medio ambiente.

### 8.2.4 Síntesis de las medidas de adaptación propuestas

El objetivo de las medidas planteadas a lo largo de los anteriores apartados es conformar un plan de adaptación que combine acciones para reducir la amenaza de encharcamiento

junto con estrategias de planificación que permitan disminuir el grado de exposición y vulnerabilidad de sistemas humanos y materiales. La siguiente tabla muestra un resumen de las medidas propuestas, junto con su ámbito de actuación y finalidad.

Tabla 78. Medidas de adaptación propuestas para Puerto Ayora  
Fuente: elaboración propia.

Factor de actuación de la medida	Tipo de medida	Nombre de la medida	Objetivo
<b>Amenaza</b>	Medida híbrida	Construcción de pozos profundos de infiltración.	Sistema de protección contra los encharcamientos mediante el aumento de la capacidad de drenaje.
	Medida verde	Creación de espacios verdes utilizando parcelas vacías existentes.	Contribuir a la gestión de la escorrentía mediante una red de espacios verdes que funcionen como complemento de los sistemas de drenaje.
<b>Exposición</b>	Planificación urbana	Relocalización o retirada de actividades expuestas a lugares sin riesgo.	Reubicación de elementos expuestos a zonas libres de amenaza, reduciendo la exposición.
<b>Vulnerabilidad</b>	Normativa	Desarrollo de políticas para mejorar los aspectos social, económico y medioambiental.	Estas mejoras pueden reducir considerablemente la sensibilidad a la que está sometida la población

La demostración de la utilidad de estas medidas de adaptación pasa por cuantificar la reducción del nivel de riesgo derivado de su aplicación. No obstante, los resultados de las medidas de carácter normativo o de planificación urbana son muy complejos de estimar y no son accesibles a corto plazo, al ser parte de la gestión del Municipio.

Por ello, este tipo de medidas no serán desarrolladas a lo largo de los próximos apartados, centrando la evaluación únicamente en las medidas orientadas a reducir la amenaza, mediante la construcción de pozos de infiltración y el desarrollo de nuevas zonas verdes. De esta manera, el nuevo cálculo del riesgo solo tendrá en cuenta la variación del índice de amenaza y la disminución del índice de exposición que pueda resultar de la reducción de la superficie encharcada.

## 8.3 Descripción de las medidas de adaptación

### 8.3.1 Medidas tipo 1: Sistema de pozos profundos de infiltración

De manera general, el incremento de la concentración de población en las ciudades ha generado un gran aumento de la urbanización y, por tanto, de la impermeabilización de los suelos. Debido a esto se producen aumentos de volumen de escorrentía y mayor velocidad de flujos naturales, reduciendo los tiempos de concentración (Cubides y Santos, 2018).

Una manera que atajar este problema es mediante la construcción de pozos de infiltración. Este sistema consiste en excavaciones de forma cilíndrica, de profundidad y diámetro

variable, y normalmente forradas con tuberías perforadas, bien sea vacías o rellenas de grava (Edwards, Washburn y Lock, 2017). Los pozos permiten infiltrar el agua de escorrentía directamente al suelo. Esta metodología puede ser aplicada en localizaciones donde el estrato superior del suelo es poco permeable, como es el caso de las zonas urbanizadas, mientras que las capas profundas tienen capacidades importantes de infiltración (Polanco, 2015).

Este es el caso de Puerto Ayora, donde la capa superior del terreno es impermeable, debido a que está pavimentada, mientras que las capas inferiores tienen gran capacidad de infiltración y permeabilidad, tal como se detalla en el apartado 4.4.2 de este estudio.

La siguiente imagen muestra un diagrama de un pozo de infiltración. La mayoría de los pozos utilizados para evacuación de agua de lluvia presentan una longitud de 10 a 20 metros y un diámetro de aproximadamente un metro (Edwards et al., 2017). A día de hoy, muchos pozos de infiltración cuentan con algún tipo de pretratamiento para la eliminación de partículas y otros contaminantes, reduciendo el riesgo de obstrucción de los pozos y evitando el transporte de contaminantes al suelo (Edwards et al., 2017).

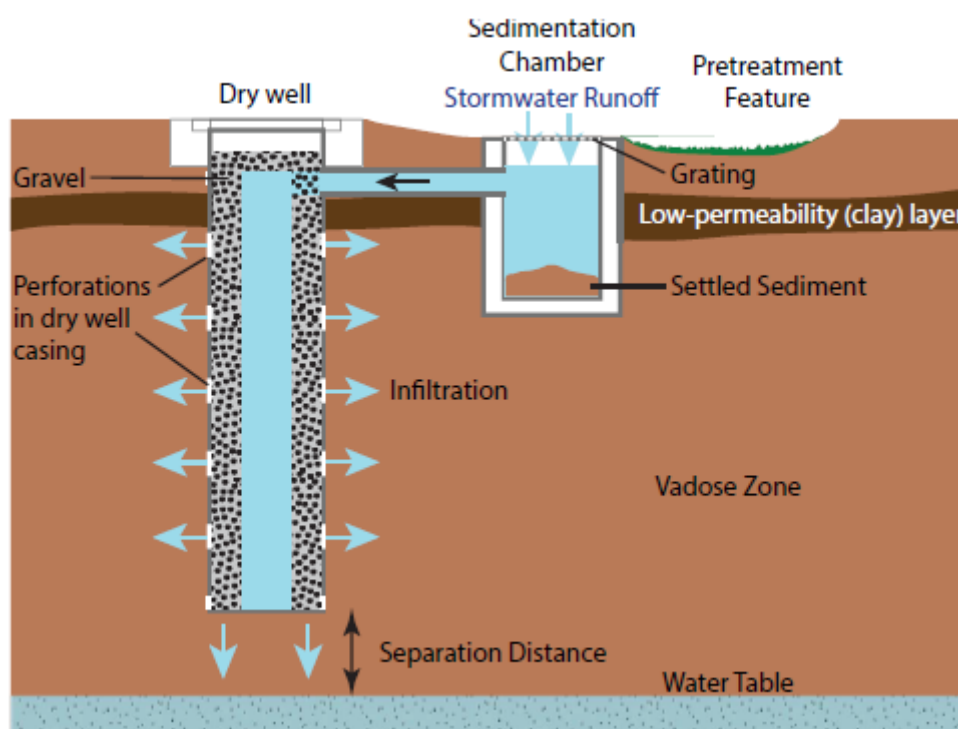


Figura 43. Diagrama de pozo profundo de infiltración  
Fuente: Edwards et al. (2017)

Los pozos de infiltración aminoran los picos de tormenta y, normalmente, se utilizan para reducir el aporte de caudales al sistema de drenaje convencional. Además, su utilización mejora la calidad de las aguas que posteriormente se verterán a acuíferos u otros cuerpos de agua existentes (Cubides y Santos, 2018).

Previamente a la construcción, el diseño de pozos de infiltración debe considerar ciertos aspectos relevantes. Se deberá tener en cuenta el tipo de terreno sobre el que se trabaja, así



como su tasa de infiltración y la posición del nivel freático, que no debe verse afectado por la instalación (Cubides y Santos, 2018).

Además, es recomendable estudiar la ubicación de pozos de infiltración cuidadosamente, ya que una excesiva proximidad a edificios o infraestructuras puede afectar a las cimentaciones de los mismos (Cubides y Santos, 2018). No obstante, se recomienda disponer varios pozos para optimizar la reducción de escorrentía, con la ventaja de que la ubicación de pozos a una corta distancia no afecta a su funcionamiento y capacidad de infiltración (Yoo et al., 2016).

Por lo tanto, será importante hacer uso de los estudios existentes en Puerto Ayora respecto a aspectos tales como topografía, usos del suelo, además de análisis hidráulicos e hidrológicos, que permitan conocer el tipo de suelo y la posición del nivel freático, entre otros. Santa Cruz cuenta con extensos análisis hidrológicos de los que se puede extraer información referente a estaciones hidroclimatológicas (precipitación media, humedad, temperatura de evaporación, etc.) de forma que se puedan obtener caudales máximos y el mapa de intensidades para conocer la precipitación en el punto de interés.

Una vez conocidos los datos de partida, se podrá proceder al diseño del sistema y dimensionamiento de los pozos, en función del caudal de escorrentía que llega a cada zona de encharcamiento y la capacidad de infiltración del suelo, de manera que se pueda determinar el diámetro, longitud, número de pozos necesarios para evacuar el agua de infiltración y disposición de los mismos.

Tras realizar la construcción, se deberá llevar a cabo la medición de caudales y lluvias de forma regular para comprobar el correcto funcionamiento de los sistemas de drenaje implementados (Cubides y Santos, 2018).

#### *8.3.1.1 Estudio de casos internacionales de éxito*

Con el fin de avanzar en la definición de la solución, se analizan algunos casos de éxito internacional que avalan la viabilidad técnica y económica de este sistema de pozos de infiltración, que permitirá identificar los aspectos a ser tenidos en cuenta en el diseño de las soluciones.

## CASO 1

**Uso de pozos de infiltración para reducir los impactos de los cambios de los usos del suelo sobre los picos de inundación en Indonesia (Kusumastuti, Jokowinarno, Khotimah y Dewi, 2017).**

### Descripción

Este estudio analiza los efectos de los pozos de infiltración en la reducción de la magnitud y frecuencia de inundaciones derivadas de evento climáticos extremos.

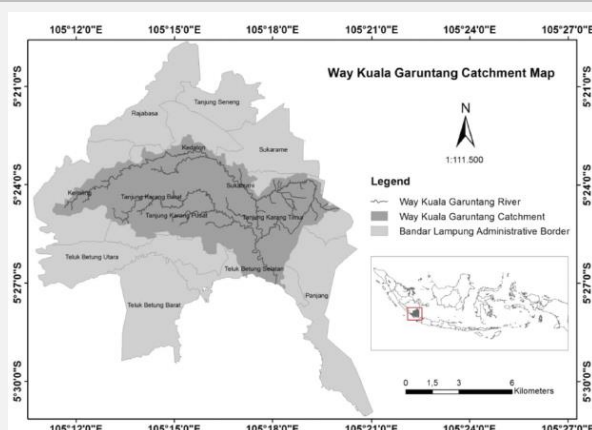
Durante los últimos años se han producido cambios en el suelo en varias zonas de Indonesia, donde, el rápido desarrollo urbano ha hecho que cada vez existan más áreas residenciales, industriales y comerciales. La impermeabilización de los suelos debido a este desarrollo ha provocado que la escorrentía generada durante periodos de intensas lluvias no pueda filtrarse al terreno, por lo que discurre por las calles hasta quedar almacenada en los puntos bajos, generando graves inundaciones en las zonas urbanas, especialmente durante la estación húmeda. Los pozos de infiltración correctamente dimensionados pueden reducir notablemente el efecto de las inundaciones mediante la captación de la escorrentía que se genera tras eventos de intensas lluvias.

Se modelizan diferentes configuraciones y dimensiones de pozos de infiltración, de lo que este estudio concluye que los pozos de diámetros mayores (en torno a 1,4 metros en este caso) permiten reducir los picos de inundación con mayor efectividad que pozos de diámetros más pequeños. Además, la interceptación de la escorrentía es más eficiente si se dispone de una mayor densidad de pozos de infiltración en un mismo punto.

El estudio resalta que una de las ventajas de los pozos es su bajo precio en relación con los resultados que se pueden conseguir, además de ser un método de fácil implementación por parte de la comunidad e incluso por parte de particulares.

Finalmente, se estima que una correcta distribución de los pozos sobre el terreno, así como un correcto dimensionamiento de su diámetro, puede suponer una reducción de hasta el 50% del volumen de inundación.

### Imágenes



*Figura 44. Área de estudio Indonesia  
Fuente: Kusumastuti et al. (2017).*

### URL

<http://repository.lppm.unila.ac.id/id/eprint/1855>

## CASO 2

### **Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración (Bogotá) (Cubides y Santos, 2018).**

#### **Descripción**

A lo largo de los años, la intervención sobre el territorio ha ocasionado la desaparición de humedales, bosques y cobertura vegetal, con graves consecuencias como el aumento de escorrentía, deslizamientos, inundaciones y avenidas torrenciales. Por ello, varias ciudades de Colombia requieren la implementación de nuevos sistemas que complementen a las instalaciones convencionales para una mejor gestión de la escorrentía procedente de las intensas lluvias.

Bogotá se localiza dentro de una zona de confluencia intertropical que causa grandes precipitaciones. Por otro lado, el aumento de la concentración de población en la ciudad ha hecho aumentar el nivel de urbanización de los suelos considerablemente, y, por tanto, su impermeabilidad, generándose grandes volúmenes de escorrentía que deben ser transportados por una red de alcantarillado, que actualmente no tiene capacidad suficiente.

La gestión de la escorrentía es una de las problemáticas más importantes de la ciudad, por lo que se plantean nuevas tecnologías de drenaje consistentes en pozos de infiltración. Entre las ventajas que presentan estos sistemas está la disminución de los caudales pico, disminuyendo el riesgo de que se presenten encharcamientos, la reducción del volumen y frecuencia de escorrentías en las áreas urbanizadas, la disminución del riesgo de inundación y la mejora de la calidad de agua de las escorrentías, eliminando contaminantes.

El estudio abarca dos escenarios de modelización, en el primero, solo se estudia la presencia de un colector de aguas pluviales, mientras que, en el segundo, se considera el mismo análisis, añadiendo además pozos de infiltración. Los resultados muestran resultados altamente satisfactorios para el segundo caso, quedando patente la viabilidad de los sistemas de pozos de infiltración como método de control de escorrentía.

#### **Imágenes**



*Figura 45. Área de estudio Bogotá*

*Fuente: Google Earth, a partir de datos de Cubides y Santos (2018).*

#### **URL**

<http://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaingenieria/article/view/98>

### CASO 3

#### Actuaciones urbanas en Barcelona: Can Cortada (2014), (MITECO, 2019).

##### Descripción

El clima de Barcelona presenta precipitaciones estacionales, con períodos secos y lluviosos y riesgo medio de inundación. La impermeabilización es severa en todo el terreno, lo que hace muy compleja la gestión de las escorrentías en el área urbana.

En Can Cortada se ha diseñado una nueva urbanización con zonas verdes y vial interior. Se prioriza la construcción de zonas vegetadas, pavimentando solamente aquellas zonas que vayan a ser urbanizadas.

El agua pluvial proveniente de la red separativa se vierte a estas zonas verdes, por donde discurre hasta ser vertida en pozos que la infiltran al terreno. Además, se utilizan pavimentos permeables para reducir la escorrentía

##### Imágenes



*Figura 46. Zona de aplicación de las medidas  
Fuente: MITECO (2019).*



*Figura 47. Sistema de infiltración  
Fuente: MITECO (2019).*



*Figura 48. Urbanización Can Cortada (Barcelona)  
Fuente: Soto-Fernández (s.f.)*

##### URL

<https://www.bcnsostenible.cat/es/web/punt/can-cortada>



## CASO 4

**Evaluación del uso de pozos profundos de infiltración como herramienta para reducir la escorrentía derivada de precipitaciones, protegiendo la calidad de las aguas subterráneas de las cuencas urbanas de Elk Grove (California) (Nelson, Washburn y Lock, 2017).**

### Descripción

Este proyecto tiene como objetivo la evaluación del riesgo de afección a los acuíferos ocasionado por el uso de pozos de infiltración como sistemas de evacuación de las aguas de escorrentía.

El estudio se lleva a cabo en el sistema de pozos de infiltración de la ciudad de Elk Grove, en California. En esta localidad se monitoriza el funcionamiento de los pozos con el objetivo de cuantificar los beneficios, costes y riesgos de este sistema y el desarrollo de planes de gestión de escorrentía a nivel regional.

Los resultados indican que los pozos de infiltración se están convirtiendo en opciones altamente recomendables para la evacuación de escorrentía. Asimismo, aunque el riesgo asociado la utilización de estos sistemas está vinculado a la introducción de contaminantes en los acuíferos, los datos recopilados en Elk Grove no muestran evidencia de contaminación directamente relacionada con los pozos de infiltración. De hecho, mediante modelización se ha determinado que el riesgo de afección a los acuíferos es mínimo.

A la vista de estos resultados, el estudio concluye que si se lleva a cabo un correcto análisis para determinar la ubicación óptima de los pozos, así como un buen diseño y mantenimiento, se puede asegurar la eficacia de este sistema, sin poner en riesgo la integridad de los acuíferos a los que se desvía el agua de lluvia.

### Imágenes



Figura 49. Ubicación de los pozos  
Fuente: Nelson et al., (2017).



Figura 50. Pozos de infiltración  
Fuente: Nelson et al., (2017).

### URL

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjT35fP50vsAhUr8-AKHeaOA7oQFjAWegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Felkgrovecity.org%2FUserFiles%2FServers%2FServer\\_109585%2FFile%2FDepartments%2FPublic%2520Works%2FDraimage%2FDry%2520Wells%2FFinal%2520Report.pdf&usg=AOvVaw0d87WpHb7YwBjTjt9SpTG5](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjT35fP50vsAhUr8-AKHeaOA7oQFjAWegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Felkgrovecity.org%2FUserFiles%2FServers%2FServer_109585%2FFile%2FDepartments%2FPublic%2520Works%2FDraimage%2FDry%2520Wells%2FFinal%2520Report.pdf&usg=AOvVaw0d87WpHb7YwBjTjt9SpTG5)

## CASO 5

### Infiltración del agua de lluvia en áreas urbanas (Markovic, Zele, Káposztásová y Hudáková, 2014)

#### Descripción

La Universidad de Kosice (Eslovaquia) ha analizado el funcionamiento de dos pozos de infiltración ubicados en su Campus. En este sistema, el agua de escorrentía llega a los pozos proveniente de los tejados de los edificios contiguos.

El estudio revela que la completa infiltración del agua de lluvia en el pozo ocurre poco tiempo después de la finalización del evento de precipitación, lo que indica que la capacidad de infiltración del suelo es alta. Por lo tanto, aunque la superficie de infiltración con la que cuentan los pozos es relativamente pequeña, son un sistema completamente eficiente gracias a la buena capacidad de infiltración del suelo, asegurando la correcta gestión del agua de escorrentía.

El estudio afirma que los pozos de infiltración constituyen una solución efectiva para reducir los grandes volúmenes de escorrentía, siempre y cuando se tengan en cuenta los principios de diseño de estos sistemas: suficiente separación con los edificios próximos, y conocimiento previo de la capacidad de infiltración y nivel freático.

#### Imágenes



Figura 51. Pozos de infiltración  
Fuente: Markovic et al. (2014).

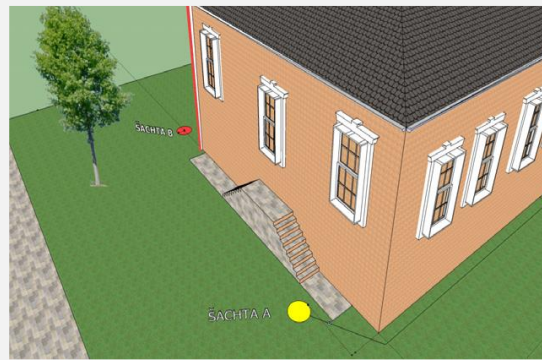


Figura 52. Diagrama de ubicación de los pozos  
Fuente: Markovic et al. (2014).

#### URL

<https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/181/25992>

Del estudio de estos casos se concluye que los pozos de infiltración son sistemas altamente eficaces para la gestión de la escorrentía. No obstante, se deben seguir ciertas directrices para maximizar su potencial. El correcto dimensionamiento es un factor crucial, ya que los estudios indican que los diámetros mayores permiten reducir los picos de inundación con mayor efectividad que los pozos más pequeños, además, la interceptación de la escorrentía es más eficiente si se dispone de una mayor densidad de pozos en un mismo punto. Por otro lado, se deberá mantener una suficiente separación entre los edificios cercanos y conocer características como la posición del nivel freático y la capacidad de infiltración del suelo para conseguir un buen diseño.

Las estimaciones señalan que se puede conseguir alrededor de un 50% de reducción del volumen de inundación, resultado que se incrementa si la capacidad de infiltración del suelo



es buena. Otras de sus ventajas son la reducción de la frecuencia de inundación en las áreas urbanizadas, la disminución del riesgo y la mejora de la calidad de agua, ya que permiten eliminar partículas contaminantes. Por todo ello, se puede afirmar que los pozos de infiltración son altamente efectivos, además son un método de fácil implantación y bajo precio en relación a los potenciales resultados.

### 8.3.1.2 Descripción de la propuesta de construcción de pozos profundos de infiltración en Puerto Ayora

El aumento de los caudales pico debido a la impermeabilización de los suelos, junto con el previsible aumento de las lluvias en Santa Cruz, hacen que sea necesario implementar nuevas tecnologías de drenaje en Puerto Ayora, como son los pozos profundos de infiltración. Este sistema actúa como una medida de protección basada en la reducción de las superficies inundables y los caudales de escorrentía. Como ya se ha comentado, esta solución, planteada por el Municipio, surge como alternativa para la construcción de un sistema de aguas pluviales, en contraposición con otros sistemas de captación de escorrentía de mayor coste.

La viabilidad de estos sistemas está ampliamente probada y entre sus ventajas cuenta con una disminución de alrededor del 50% del volumen de inundación (Kusumastuti et al., 2017) y de la frecuencia de encharcamiento, con la consiguiente reducción del riesgo. Además, su uso no afecta a la calidad de las aguas que llegan a los acuíferos subterráneos, ya que suelen venir acompañados de un sistema de pretratamiento (Edwards et al., 2017), y su precio es bajo en relación con los buenos resultados que se pueden conseguir (Yoo et al., 2016).

Para su dimensionamiento se deben usar estudios existentes sobre Puerto Ayora o realizar análisis que permitan determinar datos como tasa de infiltración del suelo, la posición del nivel freático, el caudal pico y la intensidad máxima de precipitación sobre el área de estudio (Cubides y Santos, 2018). Posteriormente, a partir de estos resultados se deberán determinar las dimensiones del pozo, teniendo en cuenta que su longitud deberá ser suficiente para alcanzar las capas permeables del suelo (Soto-Fernández y Perales-Momparler, 2017) y almacenar el agua de lluvia hasta que finalice el filtrado. A continuación, se muestran las dimensiones de pozos de infiltración utilizados en situación similares:

Tabla 79. Dimensiones orientativas de los pozos profundos  
Fuente: Kusumastuti et al. (2017); Edwards et al. (2017).

<b>Longitud</b>	10 – 20 metros
<b>Diámetro</b>	1,0 -1,5 metros

Asimismo, el número de pozos y su ubicación debe analizarse correctamente de manera que se maximice la eficacia del sistema sin perturbar las cimentaciones de los edificios colindantes (Cubides y Santos, 2018). También es necesario dimensionar un sistema de pretratamiento que permita la retención de partículas y contaminantes existentes en la ciudad y que son arrastrados por la escorrentía hacia los puntos de encharcamiento (Cubides y Santos, 2018).

Tras la ejecución de los pozos habrá que realizar mediciones de caudales y precipitaciones de forma regular para garantizar el buen funcionamiento del sistema (Cubides y Santos, 2018).

### 8.3.2 Medidas tipo 2: Consolidación de un sistema de espacios verdes

El proceso de urbanización implica la sustitución de superficies vegetadas por superficies impermeables, lo que se traduce en un aumento de volumen de escorrentía tras episodios de lluvias intensas (Zhang, Xie, Zhang y Zhang, 2012). Por un lado, la reducción de las zonas verdes reduce la interceptación natural y la evapotranspiración, y por otro, el aumento de impermeabilidad provoca una reducción de la capacidad de infiltración de los suelos. El resultado de estos efectos es un incremento drástico de los volúmenes de escorrentía, lo que, a su vez, aumenta el riesgo de ocurrencia de inundaciones (Momparder y Andrés-Doménech, 2008).

Por otra parte, una consecuencia del desarrollo de las ciudades es el incremento de la contaminación. Las actividades humanas generan gran cantidad de contaminantes, tales como sedimentos, materia orgánica, nutrientes, hidrocarburos o patógenos (Momparder y Andrés-Doménech, 2008). Durante las precipitaciones, la contaminación acumulada en las superficies es arrastrada hacia el medio receptor de la escorrentía, causando graves consecuencias (Momparder y Andrés-Doménech, 2008). Por esta razón, existe una creciente necesidad de depurar el agua de lluvia.

Por tanto, los núcleos urbanos necesitan dar solución dos cuestiones. Por una parte, reducir los grandes volúmenes de escorrentía derivados de la impermeabilización del suelo y que pueden generar inundaciones, y por otra, implementar un sistema de tratamiento que elimine los contaminantes presentes en el agua de escorrentía con el fin de proteger los acuíferos y cursos de agua receptores.

Una alternativa para resolver ambas cuestiones pasa por la creación de nuevos espacios verdes en el entorno urbano, una medida no convencional que busca compensar los efectos de la impermeabilización del suelo generado tras el desarrollo urbano (Pappalardo, La Rosa, Campisano y La Greca, 2017). Una red de espacios libres interconectados supone un importante aumento de la superficie permeable (FIC, 2019), de forma que se pueda reproducir el ciclo hidrológico previo a la urbanización de la forma más fiel posible (Momparder y Andrés-Doménech, 2008).

El funcionamiento de este sistema se basa en dirigir la escorrentía hacia las zonas verdes, aprovechando la alta permeabilidad del suelo para infiltrar el agua de lluvia, consiguiendo la reducción del volumen de escorrentía, y la eliminación de contaminantes (Zhang et al., 2012). Además, algunas de las ventajas de aumentar la red de espacios verdes son (Momparder y Andrés-Doménech, 2008):

- Integración del tratamiento de agua de lluvia en el paisaje.
- Protección y mejoras del ciclo del agua en entornos urbanos.
- Mejora de la calidad del agua, especialmente de las aguas receptoras de escorrentía urbana.
- Reducción de caudales punta.

Los espacios verdes actúan como estrategia complementaria a las medidas del tipo estructural (FIC, 2019). Por lo tanto, es deseable la combinación de medidas estructurales y no estructurales para reducir las inundaciones y el impacto de la urbanización, y mejorar la resiliencia, la infiltración y el almacenamiento de agua (Pappalardo et al., 2017).

Para la implementación de esta medida, será necesaria la identificación y delimitación de zonas de intervención donde sea posible crear una red de espacios libres ajardinados con

especies autóctonas, adaptadas al clima (FIC, 2019). Asimismo, también es recomendable mejorar en la medida de lo posible los espacios ya existentes.

En cuanto a la efectividad de los espacios verdes para el control de inundaciones, Song et al. (2020) afirma que se puede conseguir entre un 17% y un 23% de reducción de escorrentía. Otros modelos más optimistas indican que se podrían alcanzar una mejora del 30%.

Estas zonas ofrecen importantes posibilidades, pero su diseño debe tener en cuenta ciertos aspectos, tales como la morfología urbana o las condiciones del suelo (Yao, Chen, Wei y Sun, 2015), puesto que un suelo permeable será más favorable para este tipo de sistemas basados en la infiltración.

La cantidad e intensidad de las precipitaciones también será un aspecto clave (Yao et al., 2015), ya que determina en gran medida la capacidad de gestión de la escorrentía. Así, durante precipitaciones de baja intensidad, el sistema puede interceptar una cantidad próxima a 70% de la escorrentía (Song et al., 2020). A medida que aumenta la intensidad de la lluvia, la capacidad de captación de este suelo disminuirá rápidamente por debajo del 30% (Song et al., 2020). La duración de episodios de lluvia también es determinante, ya que durante eventos de larga duración se consigue una infiltración del orden de 3 a 13% mayor que episodios cortos (Song et al., 2020).

A partir de los datos de Song et al. (2020) se ha elaborado la siguiente tabla que resume las capacidades de reducción de escorrentía que se pueden obtener gracias a las zonas verdes durante distintos tipos de episodios de lluvia. Para el cálculo de los porcentajes de reducción en lluvias de corta duración se asume una reducción del 8% respecto al caso de larga duración, al ser el punto intermedio del rango de 3% a 13%.

*Tabla 80. Porcentaje de captación de escorrentía en zonas verdes para distintos tipos de episodios de precipitación*  
*Fuente: elaboración propia a partir de datos de Song et al. (2020).*

	<b>Intensidad baja</b>	<b>Intensidad alta</b>
<b>Duración larga</b>	30,0% - 69,0%	2,0% - 30,0%
<b>Duración corta</b>	27,0% - 63,0%	1,8% - 27,0%

Se observa que existen situaciones claramente favorables para el sistema, que alcanza su óptimo funcionamiento en episodios de baja intensidad y larga duración, mientras que su utilidad disminuye drásticamente a medida que la intensidad del evento y aumenta y se reduce su duración, momento en el que la capacidad del suelo es insuficiente para la correcta gestión de la escorrentía (Song et al., 2020).

A continuación, se presentan algunos casos de éxito internacional que avalan la viabilidad de las zonas verdes como sistemas de gestión de la escorrentía:

### 8.3.2.1 Estudio de casos internacionales de éxito

Para la definición de la solución, se analizan algunos casos de éxito internacional que avalan la viabilidad técnica y económica de la incorporación de espacios verdes como medida de adaptación, lo que permitirá mejorar el diseño de las soluciones.

## CASO 1

### Proyecto integrado de gestión de inundaciones en el entorno urbano en Senegal (Agencia Francesa de Desarrollo (AFD), 2016).

#### Descripción

Los daños causados por las fuertes lluvias en zonas urbanas de rápido desarrollo en Dakar son cada vez mayores. Además, las proyecciones indican que el cambio climático traerá eventos de precipitación intensa más frecuentes y que causarán daños graves a las áreas más vulnerables.

El crecimiento urbano rápido y no planeado en zonas en las afueras de Dakar ha tenido un fuerte impacto negativo sobre la red hidrográfica natural, que ha afectado a la evacuación del agua de lluvia hacia el mar. Por ello, esta agua se acumula en el suelo y está provocando la subida del nivel piezométrico, causando la aparición de inundaciones, incluso con lluvias de poca intensidad.

El proyecto plantea, además de medidas estructurales y normativas, la construcción de instalaciones que no se vean afectadas por inundación, como parques, centros deportivos al aire libre o jardines. Asimismo, propone el desarrollo de un sistema de drenaje más efectivo que el actual.

Finalmente, recomienda la instalación de herramientas de medición meteorológicas e hidrológicas que aseguren el conocimiento a tiempo real de los eventos climáticos para conseguir una capacidad de respuesta más rápida.

#### Imágenes



*Figura 53. Área de estudio Senegal*

*Fuente: Google Earth, a partir de datos de Agencia Francesa de Desarrollo (2016).*

#### URL

<https://www.greenclimate.fund/sites/default/files/document/funding-proposal-fp021-afd-senegal.pdf>



## CASO 2

**Aumento de la resiliencia de las poblaciones urbanas de Laos mediante soluciones basadas en los ecosistemas (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), 2019).**

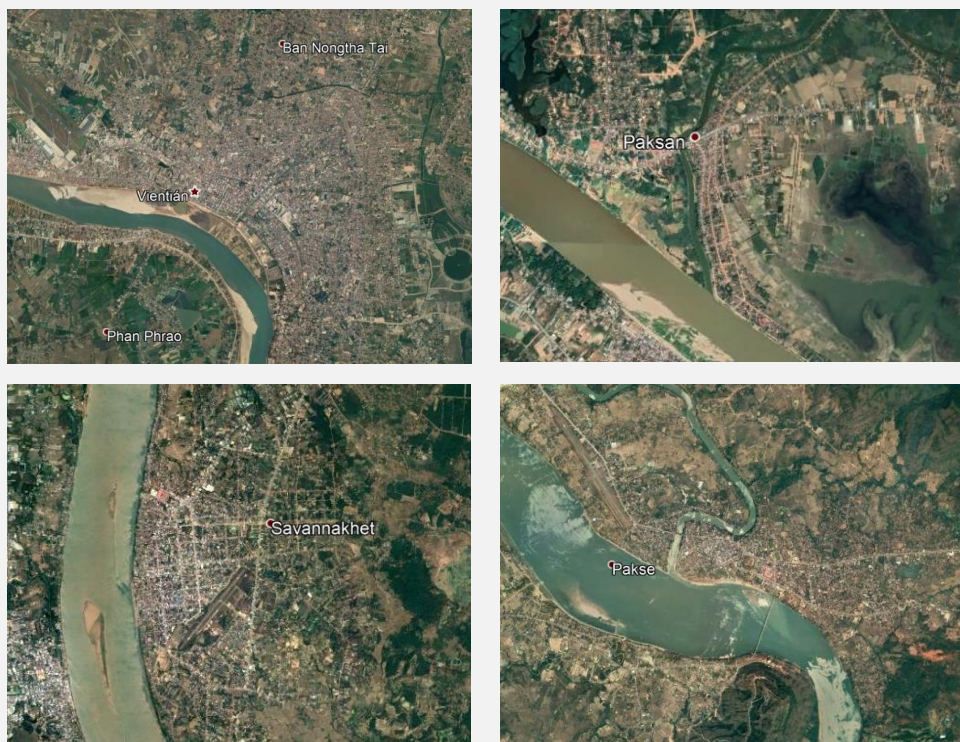
### Descripción

Este proyecto propone cambiar la forma de gestión de la inundación en Laos, de los enfoques basados en infraestructura gris a los centrados en los ecosistemas, aumentando la resiliencia al cambio climático.

En Laos, el cambio climático está aumentando progresivamente la intensidad de los eventos de precipitación extrema, causando daños más severos y frecuentes sobre las ciudades, donde el agua no se puede drenar hacia el suelo y acuíferos.

La combinación de un desarrollo urbano no planeado y el rápido crecimiento ha dado como resultado una infraestructura inadecuada y altos niveles de exposición a riesgos climáticos. Además, los humedales y zonas verdes, que tienen un papel crucial en cuanto a la protección frente inundaciones, se han ido perdiendo.

La superficie de zonas impermeables en las zonas urbanas ha aumentado drásticamente, lo que impide la infiltración de agua hacia el suelo. Por ello, el proyecto propone el desarrollo de nuevos espacios verdes y mejora de los ya existentes en cuatro ciudades principales del país Vientian, Paksan, Savannakhet y Pakse, a orillas del río Mekong.



*Figura 54. Ciudades de estudio UNEP.  
Fuente: Google Earth, a partir de datos de UNEP (2019).*

### URL

<https://www.greenclimate.fund/sites/default/files/document/funding-proposal-sap009-unep-lao-people-s-democratic-republic.pdf>

### CASO 3

**Políticas municipales para la gestión de la escorrentía mediante infraestructura verde: caso de Lenexa, Kansas (Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA), 2010).**

#### Descripción

Lenexa, un barrio a las afueras de Kansas City, ha visto como el impacto de las escorrentías ha aumentado con el desarrollo urbano a causa de una mayor impermeabilización del suelo. Por ello, ha creado programas de protección sobre ciertas áreas y proyectos de desarrollo de infraestructura verde para limitar la impermeabilidad del suelo y gestionar correctamente la escorrentía.

Además, la ciudad ha promovido actuaciones para la conservación y restauración de humedales, jardines o cursos de agua, incrementando y mejorando los recursos naturales existentes.

#### Imágenes



*Figura 55. Espacios verdes en Lenexa, Kansas  
Fuente: EPA (2010).*

#### URL

<https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi6i7PwlpntAhWNy4UKHc96AmsQFjAHegQIDxAC&url=http%3A%2F%2Fwww2.ku.edu%2F~kutc%2Fpdf%2Ffiles%2FGreen%2520Infrastructure%2520Case%2520Studies.pdf&usg=AOvVaw1fLkFZOEJyn8De6YimHTGk>



## CASO 4

### El camino del agua en el paisaje urbano, barrio de Bon Pastor, Barcelona (Soto-Fernández y Perales-Momparler, 2017).

#### Descripción

El objetivo que persigue esta actuación es preservar el ciclo hidrológico natural previo a la construcción de la ciudad, maximizando la superficie vegetada permeable.

Este barrio de la ciudad de Barcelona sufre una remodelación urbanística muy importante, en la que parte de los terrenos se reservan y se mantienen como zonas verdes permeables para garantizar un correcto drenaje urbano. El sistema es altamente viable, ya que el suelo arenoso permite la infiltración de la escorrentía a las capas inferiores del suelo. Así, las superficies impermeabilizadas, tanto edificios, como infraestructura vial, vierten el agua de lluvia a las superficies permeables correspondientes.

Además, debido a la morfología de estas zonas verdes, es posible captar contaminantes como hidrocarburos procedentes de la calzada, que se degradan mediante procesos biológicos.

Mediante modelización, este estudio afirma que se puede conseguir una reducción de la escorrentía tal que solo el 0,1% del agua de lluvia ha de ser tratada en depuradora o es vertida al mar en episodios de descarga del sistema unitario. Asimismo, se estima que para la tormenta de diseño con un período de retorno de 10 años se reducen los caudales pico un 85%.

#### Imágenes



*Figura 56. Espacios verdes en Bon Pastor, Barcelona  
Fuente: Soto-Fernández y Perales-Momparler (2017).*

#### URL

[http://aus.arquitectes.cat/wp-content/uploads/2014/05/2017\\_Soto\\_Perales\\_SuDSBonPastor\\_Bcn.pdf](http://aus.arquitectes.cat/wp-content/uploads/2014/05/2017_Soto_Perales_SuDSBonPastor_Bcn.pdf)

## CASO 5

### **The Circle, solución sostenible frente a inundaciones en Normal (Illinois) (Hoerr Schaudt, 2010).**

#### **Descripción**

En Normal (Illinois) el aumento de la escorrentía superficial como resultado del aumento de las precipitaciones locales debido al cambio climático llevó a diseñar una solución para administrar el exceso de pluviometría.

El agua de lluvia que escurre de las calles se almacena y purifica en el centro de una rotonda, de manera que se reducen las inundaciones en la parte más baja de la ciudad. El agua se purifica utilizando filtros UV y mediante vegetación. Además, el agua enmascara el ruido ambiental y de tráfico y se puede utilizar para regar las calles para reducir el estrés por calor.

#### **Imágenes**



*Figura 57. Vista de The Circle*  
*Fuente: Google Earth.*



*Figura 58. The Circle*  
*Fuente: Hoerr Schaudt (2010).*

#### **URL**

<https://www.hoerrschaudt.com/project/uptown-normal/?parent=90>

A la vista de los anteriores casos, se puede afirmar que el desarrollo de nuevos espacios verdes y la mejora de los ya existentes permite aumentar la permeabilidad del suelo y gestionar correctamente la escorrentía. Por ello, es necesario maximizar la superficie vegetada en las ciudades, creando espacios verdes que no se vean afectados por la inundación, como parques, centros deportivos o jardines.

Por otro lado, es necesario implementar medidas normativas que permitan cambiar la forma de gestión de la inundación, de los enfoques basados en infraestructura gris a los centrados en los ecosistemas. Además, se deben crear programas de protección sobre ciertas áreas, promoviendo actuaciones para la conservación y restauración de zonas verdes urbanas.

Los estudios demuestran que este sistema de gestión del agua de lluvia es altamente viable en puntos donde el suelo permeable permita la infiltración de la escorrentía a las capas inferiores, como es el caso de Puerto Ayora. Además, las zonas verdes permiten reducir considerablemente los caudales pico y captar contaminantes presentes en la escorrentía, que posteriormente se degradan mediante procesos biológicos.

### 8.3.2.2 Descripción de la propuesta de implantación de zonas verdes en Puerto Ayora

La pérdida de superficie verde debido a la urbanización de Puerto Ayora ha supuesto una reducción de capacidad de infiltración del suelo, de forma que, tras fuertes lluvias, el agua discurre en forma de escorrentía por las calles de la ciudad hasta quedar almacenada en los puntos bajos dando lugar a encharcamientos.

Una manera de subsanar este problema es volver a crear espacios verdes, aumentando la permeabilidad del suelo y devolviéndole su capacidad de infiltración previa a la urbanización. Así, parte de la escorrentía sería captada por las zonas verdes e infiltrada a las capas inferiores del suelo. Además, estos sistemas son capaces de eliminar los contaminantes de la escorrentía, quedando retenidos en el proceso de infiltración (Zhang et al., 2012).

Las parcelas no edificadas y espacios libres pueden servir como lugares de desarrollo de espacios verdes, por lo que es importante conocer su ubicación en la ciudad, superficie y proximidad a zonas de encharcamiento.

En el siguiente mapa se pueden ver las parcelas vacías encontradas en la zona de estudio y su ubicación en relación con las zonas de inundación. Se distingue entre parcelas individuales ubicadas en zonas residenciales o comerciales, pero que no están edificadas, y espacios libres, como parques, jardines o plazas.

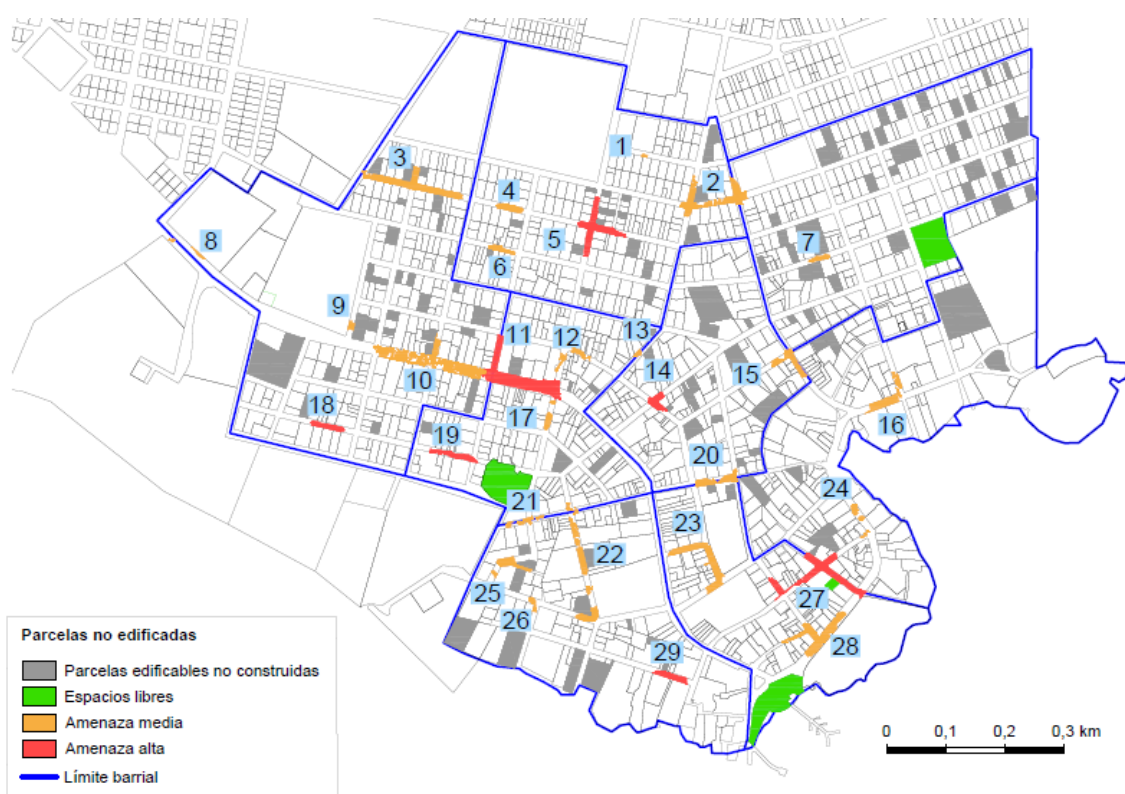


Figura 59. Parcelas no construidas en la zona de estudio

Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIC (2019), GADMSC (2012) y Visor Cartográfico de Ecuador (2020).

La siguiente tabla muestra el número de parcelas sin edificar próximas a cada área de inundación, así como la superficie conjunta de estas zonas.

*Tabla 81. Número de parcelas no construidas por zona de inundación*  
*Fuente: elaboración propia.*

Nº zona	Número parcelas próximas sin edificar	Área zonas (m <sup>2</sup> )	Nº zona	Número parcelas próximas sin edificar	Área zonas (m <sup>2</sup> )
<b>1</b>	0	0,00	<b>16</b>	0	0,00
<b>2</b>	1	524,59	<b>17</b>	0	0,00
<b>3</b>	4	1703,33	<b>18</b>	2	892,19
<b>4</b>	0	0,00	<b>19</b>	1	4165,37
<b>5</b>	6	1596,81	<b>20</b>	4	1678,23
<b>6</b>	1	125,38	<b>21</b>	1	4165,37
<b>7</b>	3	2906,48	<b>22</b>	2	2086,72
<b>8</b>	0	0,00	<b>23</b>	0	0,00
<b>9</b>	1	869,74	<b>24</b>	0	0,00
<b>10</b>	3	1345,45	<b>25</b>	3	1291,96
<b>11</b>	1	588,00	<b>26</b>	0	0,00
<b>12</b>	0	0,00	<b>27</b>	4	1716,07
<b>13</b>	1	491,09	<b>28</b>	1	4041,55
<b>14</b>	1	56,52	<b>29</b>	1	119,97
<b>15</b>	0	0,00	<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>30364,82</b>

Hay un total de 42 parcelas que podrían utilizarse para evacuar el agua de encharcamiento, lo que equivale a más de tres hectáreas repartidas por toda la ciudad. Esto puede ser de suma importancia en zonas donde las afecciones son considerables, como las áreas 10, 11 y 27.

Tanto las intervenciones de infraestructura destinadas a la captación e infiltración del agua de lluvia, como el aprovechamiento de la red de espacios públicos y privados, libres de edificación, deberán ser recogidas en las estrategias de planificación urbana. El planeamiento tendrá, por tanto, que disponer de las determinaciones necesarias para su inclusión en la ordenación de estos ámbitos y desarrollar los planes de reforma interior que les proporcione el marco jurídico para su desarrollo.



## 9 Evaluación de la eficacia de las medidas

### 9.1 Hipótesis de cálculo

Para calcular la variación del nivel de riesgo tras la aplicación de los pozos, surgen varios problemas por la falta de datos existentes. Como no se conoce la topografía de la cuenca que vierte hacia las zonas de encharcamiento, es decir, la superficie cuya escorrentía discurre hasta esos puntos, no es posible saber qué cantidad de agua va a pasar por cada pozo. Además, se necesitarían estudios para determinar la capacidad de filtración del suelo, y saber así qué volumen pueden filtrar por unidad de tiempo.

A falta de modelización o trabajo de campo que determine estos datos, se proponen dos escenarios del porcentaje de escorrentía que podría filtrar el sistema de pozos profundos, en base a los valores reportados por Kusumastuti et al. (2017) en su caso de estudio:

Tabla 82. Hipótesis de cálculo para pozos profundos de infiltración

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Kusumastuti et al. (2017).

Hipótesis	Capacidad de reducción de volumen de escorrentía
<b>Optimista</b>	60%
<b>Pesimista</b>	20%

Asimismo, la cuantificación de la reducción del riesgo derivado de la construcción de nuevos espacios verdes, también requiere del conocimiento de la topografía de Puerto Ayora, para identificar qué cantidad de escorrentía va a pasar por los nuevos espacios. También se debería disponer de la capacidad de infiltración del suelo, para conocer qué volumen de agua podría ser captado.

Al igual que en el cálculo para pozos profundos, se proponen dos hipótesis de cálculo basadas en los resultados de la Tabla 80, en la que se presentan las capacidades de retención de escorrentía de los espacios verdes en función de la intensidad y la duración de la precipitación.

Las lluvias de alta intensidad son las que pueden dar lugar a encharcamiento, ya que la capacidad de filtración del suelo se supera rápidamente. En Puerto Ayora, esto coincide con la precipitación de la época cálida, de gran intensidad y duración variable, y los eventos de El Niño de alta intensidad y duración (apartado 4.2). Por ello, las hipótesis se basarán en lluvias de alta intensidad, causantes de las inundaciones.

Tabla 83. Hipótesis de cálculo para pozos profundos de infiltración

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Song et al. (2020).

Hipótesis	Capacidad de retención
<b>Optimista (intensidad alta + larga duración)</b>	30%
<b>Pesimista (intensidad alta + corta duración)</b>	1,8%

### 9.1.1 Hipótesis combinada de cálculo

Es necesario combinar las hipótesis de cálculo planteadas en Tabla 82 y Tabla 83, ya que se pretende determinar la reducción del nivel de riesgo derivada de la construcción de pozos profundos de infiltración y nuevos espacios verdes en conjunto. Por ello, se combinan las hipótesis anteriores de forma que solo existan dos escenarios: optimista y pesimista.

A partir de los apartados anteriores se plantea que, en el escenario optimista, los pozos profundos consiguen un 60% de reducción del volumen de escorrentía previo a la implementación de los pozos, mientras que los espacios verdes se encuentran en su situación más favorable (intensidad alta de lluvia de larga duración), de manera que el área verde presenta una capacidad máxima de retención de escorrentía del 30%.

Por el contrario, el escenario pesimista plantea que la captación de volumen de escorrentía por parte de los pozos es únicamente del 20%, mientras que los espacios verdes solo pueden captar el 1,8% del volumen de escorrentía que discurre sobre su superficie, ya que se encontrarían bajo un aguacero de alta intensidad, pero de corta duración.

La siguiente tabla resumen las dos hipótesis planteadas:

Tabla 84. Combinación de hipótesis de cálculo

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Kusumastuti et al. (2017) y Song et al. (2020).

Hipótesis combinada	Pozos profundos de infiltración	Espacios verdes
<b>Optimista</b>	60% de reducción de volumen de escorrentía	30% de capacidad de infiltración de zonas verdes (intensidad alta y larga duración)
<b>Pesimista</b>	20% de reducción de volumen de escorrentía	1,8% de capacidad de infiltración de zonas verdes (intensidad alta y corta duración)

Así, la aplicación de estos escenarios permitirá determinar dos nuevos índices de riesgo para cada zona de estudio, pudiendo calcular la reducción de riesgo obtenida en cada caso.

## 9.2 Cálculo del índice final de riesgo

Los cálculos del nuevo índice de riesgo para las tres zonas y los dos escenarios se llevarán a cabo de la misma forma. Como se trabaja con una reducción del volumen de escorrentía que llega a las zonas de encharcamiento, habrá variaciones en los factores de amenaza y exposición, pero no en el factor de vulnerabilidad.

### 9.2.1 Metodología de cálculo

#### 9.2.1.1 Datos de partida

En primer lugar, se calculará el volumen retenido por los pozos y las zonas en conjunto. En el caso de los pozos, este valor será simplemente un porcentaje del volumen inicial, determinado según el escenario de cálculo.



En el caso de los espacios verdes, se tendrá en cuenta el área de la zona verde seleccionada y el nivel de amenaza de la zona de encharcamiento en estudio. Siguiendo la metodología aplicada en el cálculo del índice de amenaza, una amenaza alta equivale a 0,50 metros de altura de encharcamiento, mientras que una amenaza media equivale a 0,25 metros. Así el volumen retenido por los espacios verdes se calculará como el producto del área de zona verde, la altura asociada al nivel de amenaza y el porcentaje de retención de escorrentía correspondiente a la hipótesis de cálculo en cuestión.

Una vez conocidos los volúmenes retenidos por los pozos de infiltración y zonas verdes, se podrá determinar qué volumen de encharcamiento existirá tras la aplicación de las medidas, como diferencia del volumen inicial y el retenido. Este valor será el punto de partida para el cálculo de los factores que determinan el riesgo.

#### *9.2.1.2 Factor amenaza*

Siguiendo la metodología aplicada en el Apartado 7.2 (Cálculo del índice de amenaza por encharcamiento), para determinar el factor de amenaza, es necesario conocer los resultados de los indicadores de área de encharcada y volumen de encharcamiento.

El volumen de encharcamiento asociado a cada zona será el nuevo volumen restante, después de aplicar las medidas. Teniendo en cuenta la altura del encharcamiento según nivel de amenaza (amenaza alta, 0,50 metros; amenaza media, 0,25 metros), se puede obtener la superficie de encharcamiento. Posteriormente, esta área se pondera, al igual que en el Apartado 7.2, de forma que amenaza alta pondera por un factor de 1,00 y amenaza media por un factor de 0,66.

Los resultados de área ponderada y volumen se normalizarán junto con los valores de las demás zonas donde no se han llevado a cabo medidas, de manera que se vinculen las normalizaciones inicial y final. Para ello, se toman las áreas o volúmenes de la nueva serie obtenida tras la aplicación de medidas y se dividen entre el mayor valor de la serie original. De esta forma, los valores están referenciados a la situación inicial y no habrá variación en los índices de amenaza de las zonas donde no se ha actuado, ya que el cociente entre las dos series permanece constante. Únicamente las zonas donde se han llevado a cabo medidas de adaptación, reduciendo su área y volumen de encharcamiento, variarán sus resultados.

Una vez obtenidos los nuevos índices de área y volumen de encharcamiento, se sumarán y normalizarán del mismo modo para conseguir el índice de amenaza entre 0 y 1 relacionado con la situación inicial.

#### *9.2.1.3 Factor exposición*

Tomando el resultado del área no ponderada obtenido en el cálculo del factor de amenaza, se puede realizar una representación aproximada de la situación de la nueva superficie de encharcamiento sobre el plano. Esto permitirá conocer los indicadores de exposición de población, equipamientos y viario principal.

El indicador de exposición de población tendrá en cuenta la población residente y alojada en establecimientos turísticos, teniendo en cuenta el número de parcelas residenciales y su área, la densidad de población y el porcentaje habitual de ocupación de dichos

establecimientos. Asimismo, el resultado se ponderará según nivel de amenaza antes de su normalización.

El indicador de exposición de equipamientos tendrá en cuenta la importancia de los equipamientos amenazados y el nivel de amenaza al que están expuestos, ponderando según corresponda, tal como se muestra en el Apartado 7.3.2.2. Finalmente, se evaluará la longitud de la zona de encharcamiento sobre las vías principales a las que afecta y se ponderará el resultado.

Todos los indicadores normalizados se sumarán y normalizarán entre 0 y 1 respecto a los resultados de las demás zonas de encharcamiento donde no se han tomado medidas. Esta normalización relacionará los resultados normalizados iniciales y finales, al igual que en el cálculo de amenaza. Este resultado será el índice de exposición con el que se calculará el nuevo nivel de riesgo.

#### 9.2.1.4 Índice de riesgo

Se partirá de los índices de amenaza y exposición anteriores, y del índice de vulnerabilidad, que no ha sufrido variaciones. El producto de estos tres factores determinará el nivel de riesgo de la zona en la que se han tomado medidas. Comparando este resultado con el inicial, se podrá calcular el porcentaje de reducción asociado a la aplicación de medidas de adaptación.

Una vez conocida la amenaza y la exposición asociada a las zonas de encharcamiento sobre las que se ha actuado, se utilizará el mismo método para el cálculo de la reducción del riesgo por barrios.

### 9.2.2 Resultados del índice final de riesgos por zonas de encharcamiento

A continuación, se detallan los resultados del nivel de riesgo y sus factores tras aplicar las medidas de adaptación sobre las zonas de encharcamiento 10, 11 y 27 del área de estudio.

Los cálculos parten de la elección de un escenario (optimista o pesimista) que determina la capacidad de infiltración y almacenamiento de los pozos, y la capacidad de retención de escorrentía de las áreas verdes.

El volumen que conforma la nueva superficie de encharcamiento estará, por tanto, determinada por la efectividad de los pozos de infiltración, y el área de superficie verde que se pueda desarrollar. La siguiente imagen, elaborada a partir de los datos representados en la Figura 59, muestra la situación de las zonas verdes seleccionadas. En el caso de la zona 27, el área elegida es actualmente un espacio verde próximo al edificio de la Alcaldía de Santa Cruz, mientras que las zonas seleccionadas en las áreas 10 y 11 son parcelas vacías de titularidad privada, al no existir espacios verdes en las inmediaciones de estas zonas de encharcamiento.

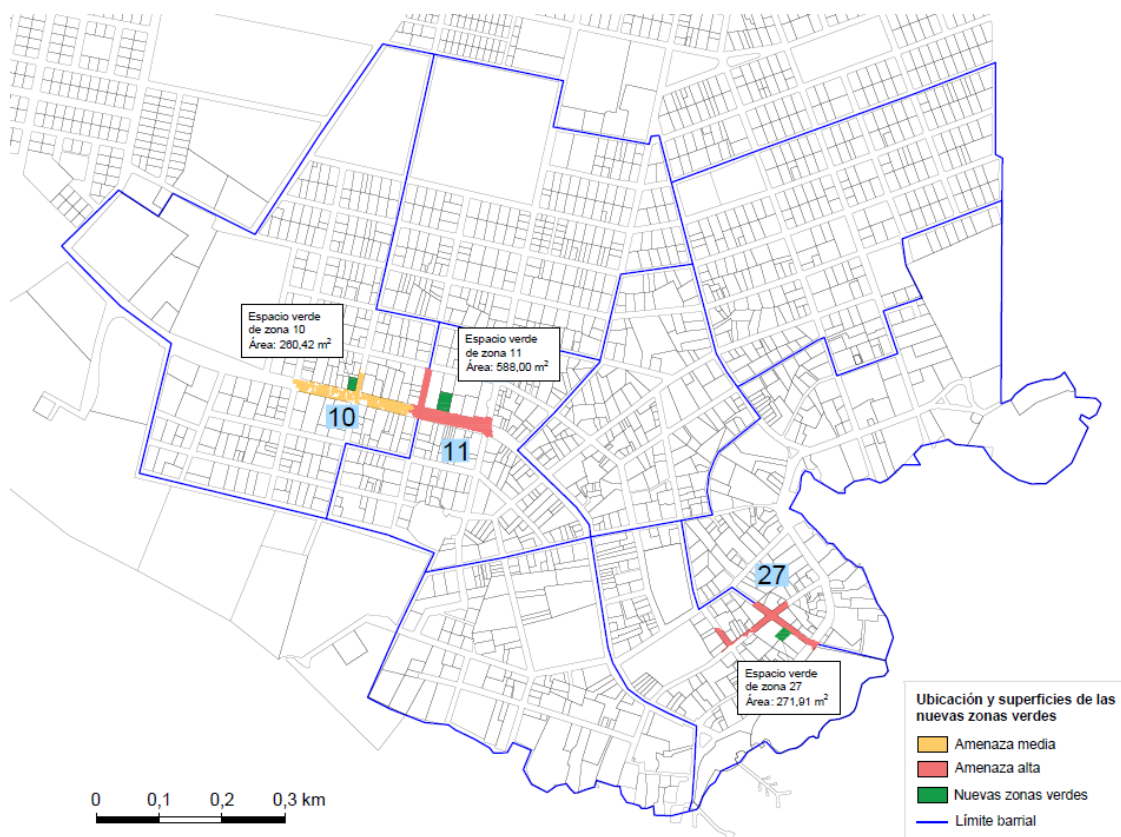


Figura 60. Zonas de ampliación de la red de espacios verdes  
Fuente: elaboración propia.

La superficie de zonas verdes permitirá determinar la capacidad de reducción del volumen de escorrentía que se puede conseguir bajo un escenario concreto.

### 9.2.2.1 Introducción

La zona de encharcamiento 10, de amenaza media, se ubica en el barrio de *Pampas Coloradas*. Este barrio tiene carácter residencial, por lo que la afección a la población es alta. Asimismo, la zona 10 se ubica sobre la Avenida Baltra, eje comercial de la ciudad y que además es la única vía de salida hacia el resto de la isla. Por tanto, las afecciones a población, equipamientos y vías principales son elevadas en este punto.

La zona de encharcamiento 11, de amenaza alta, se localiza en el barrio de *La Alborada*, afectando ligeramente a *Pampas Coloradas*. *La Alborada*, es un barrio puramente residencial, que presenta la mayor densidad de población de toda el área de estudio. Además, la zona 11 está situada sobre la Avenida Baltra, dando como resultado afecciones a equipamientos comerciales y vías principales.

Por su parte, la zona 27, se caracteriza por estar ubicada en una zona predominantemente turística y comercial, con gran cantidad de alojamientos turísticos y poca densidad de población. Los equipamientos comerciales y de servicios tienen un papel muy importante en esta área.

A continuación, se evaluarán los resultados derivados de un escenario optimista y un escenario pesimista de aplicación de las medidas en las tres zonas en conjunto. El primer paso, será el cálculo del volumen de encharcamiento resultante tras aplicar estas dos

hipótesis. Este será el punto de partida para conocer el área de inundación asociada a cada zona tras aplicar las medidas y determinar cuáles son las afecciones, en cuanto a población, equipamientos y viario principal expuesto.

#### 9.2.2.2 Escenario optimista

Como indica la Tabla 84, el escenario optimista parte de:

- 60% de reducción del volumen inicial de escorrentía gracias a los pozos profundos de infiltración.
- Las zonas verdes tienen una capacidad de retención del volumen de escorrentía que discurre sobre su área del 30%, al encontrarse en su situación más favorable (intensidad alta y larga duración del evento de precipitación).

El volumen de encharcamiento en cada caso después de aplicar las medidas será:

Tabla 85. Volumen de encharcamiento zona 10 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario optimista)  
Fuente: elaboración propia.

ZONA 10	
<b>Pozos de infiltración</b>	
Volumen de encharcamiento inicial (m <sup>3</sup> ) (extraído de Tabla 27)	747,69
Volumen retenido por los pozos (m <sup>3</sup> ) (tras 60% de reducción)	448,61
<b>Espacios verdes</b>	
Área zonas verdes (m <sup>2</sup> )	260,42
Tipo de amenaza	MEDIA
Altura de encharcamiento (m)	0,25
Volumen retenido por las zonas verdes (m <sup>3</sup> ) (tomando 30% de capacidad de retención)	19,53
<b>Volumen total retenido (pozos de infiltración + espacios verdes) (m<sup>3</sup>)</b>	<b>468,15</b>
<b>Volumen encharcamiento después de medidas (m<sup>3</sup>)</b>	<b>279,54</b>
<b>Porcentaje de reducción de volumen de encharcamiento (%)</b>	<b>62,61</b>

Tabla 86. Volumen de encharcamiento zona 11 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario optimista)  
Fuente: elaboración propia.

ZONA 11	
<b>Pozos de infiltración</b>	
Volumen de encharcamiento inicial (m <sup>3</sup> ) (extraído de Tabla 27)	1632,42
Volumen retenido por los pozos (m <sup>3</sup> ) (tras 60% de reducción)	975,45
<b>Espacios verdes</b>	
Área zonas verdes (m <sup>2</sup> )	588,00
Tipo de amenaza	ALTA
Altura de encharcamiento (m)	0,50
Volumen retenido por las zonas verdes (m <sup>3</sup> ) (tomando 30% de capacidad de retención)	88,20
<b>Volumen total retenido (pozos de infiltración + espacios verdes) (m<sup>3</sup>)</b>	<b>1067,65</b>
<b>Volumen encharcamiento después de medidas (m<sup>3</sup>)</b>	<b>564,77</b>
<b>Porcentaje de reducción de volumen de encharcamiento (%)</b>	<b>65,40</b>

Tabla 87. Volumen de encharcamiento zona 27 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario optimista)  
Fuente: elaboración propia.

ZONA 27	
<b>Pozos de infiltración</b>	
Volumen de encharcamiento inicial (m <sup>3</sup> ) (extraído de Tabla 27)	1097,03
Volumen retenido por los pozos (m <sup>3</sup> ) (tras 60% de reducción)	658,22
<b>Espacios verdes</b>	
Área zonas verdes (m <sup>2</sup> )	271,91
Tipo de amenaza	ALTA
Altura de encharcamiento (m)	0,5
Volumen retenido por las zonas verdes (m <sup>3</sup> ) (tomando 30% de capacidad de retención)	40,79
Volumen total retenido (pozos de infiltración + espacios verdes) (m <sup>3</sup> )	699,00
Volumen encharcamiento después de medidas (m <sup>3</sup> )	<b>398,03</b>
Porcentaje de reducción de volumen de encharcamiento (%)	63,72

Conocido estos datos, se pueden determinar los resultados de los indicadores de amenaza y exposición, siguiendo la misma metodología que en los anteriores apartados.

#### 9.2.2.2.1 Factor amenaza

- **Variación del indicador de amenaza por volumen de encharcamiento.**

Los volúmenes de encharcamiento después de aplicar las medidas son 279,54 m<sup>3</sup> (zona 10), 564,67 m<sup>3</sup> (zona 11) y 398,03 m<sup>3</sup> (zona 27). Tomando los volúmenes de las demás zonas de la Tabla 27 y normalizando los resultados respecto a la normalización inicial se obtiene el nuevo índice de amenaza por volumen de encharcamiento.

Tabla 88. Resultados del indicador de amenaza por volumen de encharcamiento después de las medidas (escenario optimista)  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Volumen encharcado (m <sup>3</sup> )	Índice normalizado [0-1]
1	9,37	0,01
2	461,45	0,28
3	483,23	0,30
4	98,00	0,06
5	807,02	0,49
6	76,69	0,05
7	53,82	0,03
8	38,87	0,02
9	32,82	0,02
10	279,54	0,17
11	564,67	0,34
12	93,81	0,06
13	21,75	0,01
14	240,42	0,15
15	169,83	0,10

16	232,01	0,14
17	73,72	0,05
18	225,33	0,14
19	286,29	0,18
20	174,46	0,11
21	67,70	0,04
22	357,48	0,22
23	390,36	0,24
24	67,75	0,04
25	142,70	0,09
26	49,55	0,03
27	398,03	0,24
28	434,76	0,27
29	243,98	0,15

- **Variación del indicador de amenaza por superficie encharcada.**

Partiendo del volumen de encharcamiento y la altura de inundación de 0,25 metros (amenaza media) o 0,50 (amenaza alta), se puede conocer la superficie de encharcamiento. En el cálculo de amenaza previa a las medidas se ponderó la superficie inundada según nivel de amenaza, siendo el factor de ponderación 0,66 para amenaza media y 1,00 para amenaza alta.

Tabla 89. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 10 (escenario optimista)  
Fuente: elaboración propia.

ZONA 10	
Altura de encharcamiento amenaza media (m)	0,25
Volumen encharcamiento final (m <sup>3</sup> )	279,54
Superficie no ponderada (m <sup>2</sup> )	1118,18
Factor de ponderación	0,66
Superficie ponderada (m <sup>2</sup> )	738,00

Tabla 90. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 11 (escenario optimista)  
Fuente: elaboración propia.

ZONA 11	
Altura de encharcamiento amenaza alta (m)	0,50
Volumen encharcamiento final (m <sup>3</sup> )	564,77
Superficie no ponderada (m <sup>2</sup> )	1129,54
Factor de ponderación	1,00
Superficie ponderada (m <sup>2</sup> )	1129,54



Tabla 91. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 27 (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

ZONA 27	
Altura de encharcamiento amenaza alta (m)	<b>0,50</b>
Volumen encharcamiento final (m <sup>3</sup> )	398,03
Superficie no ponderada (m <sup>2</sup> )	<b>796,05</b>
Factor de ponderación	1,00
Superficie ponderada (m <sup>2</sup> )	<b>796,05</b>

Las superficies ponderadas servirán para hacer la normalización a valores entre 0 y 1 con los resultados de la Tabla 26 que se muestra a continuación, mientras que las superficies no ponderadas serán representadas en el mapa para conocer la afección a equipamientos, población y vías.

Tabla 92. Resultados del indicador de amenaza por área encharcada después de las medidas (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Superficie ponderada (alta-1,00; media-0,66) (m <sup>2</sup> )	Índice normalizado [0-1]
1	24,72	0,01
2	1218,22	0,37
3	1275,73	0,39
4	258,71	0,08
5	1614,04	0,49
6	202,46	0,06
7	142,08	0,04
8	102,60	0,03
9	86,64	0,03
10	738,00	0,23
11	1129,54	0,35
12	247,66	0,08
13	57,41	0,02
14	480,83	0,15
15	448,34	0,14
16	612,51	0,19
17	194,61	0,06
18	450,65	0,14
19	572,58	0,18
20	460,57	0,14
21	178,73	0,05
22	943,75	0,29
23	1030,56	0,32
24	178,85	0,05
25	376,73	0,12
26	130,81	0,04
27	796,05	0,24
28	1147,77	0,35
29	487,95	0,15

- **Resultados del índice de amenaza tras las medidas.**

Los resultados de las tablas anteriores se combinan y normalizan para dar el nuevo índice de amenaza.

Tabla 93. Resultados del índice de amenaza después de las medidas (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]
1	0,01	0,01	0,01	0,01
2	0,37	0,28	0,65	0,33
3	0,39	0,30	0,69	0,35
4	0,08	0,06	0,14	0,07
5	0,49	0,49	0,98	0,49
6	0,06	0,05	0,11	0,05
7	0,04	0,03	0,08	0,04
8	0,03	0,02	0,06	0,03
9	0,03	0,02	0,05	0,02
10	0,23	0,17	0,40	0,20
11	0,35	0,34	0,69	0,35
12	0,08	0,06	0,13	0,07
13	0,02	0,01	0,03	0,02
14	0,15	0,15	0,29	0,15
15	0,14	0,10	0,24	0,12
16	0,19	0,14	0,33	0,16
17	0,06	0,05	0,11	0,05
18	0,14	0,14	0,27	0,14
19	0,18	0,18	0,36	0,18
20	0,14	0,11	0,25	0,12
21	0,05	0,04	0,10	0,05
22	0,29	0,22	0,51	0,25
23	0,32	0,24	0,55	0,28
24	0,05	0,04	0,10	0,05
25	0,12	0,09	0,20	0,10
26	0,04	0,03	0,07	0,04
27	0,24	0,24	0,49	0,24
28	0,35	0,27	0,62	0,31
29	0,15	0,15	0,30	0,15

#### 9.2.2.2.2 Factor exposición

La modificación de los indicadores se determinará a partir de las representaciones aproximadas de las nuevas superficies de encharcamiento, dichas áreas se pueden ver en Figura 61, Figura 62 y Figura 63.

- **Variación del indicador de exposición de población.**

De nuevo, para este cálculo se tendrá en cuenta tanto la población residente alrededor del área de forma permanente como la que se encuentre alojada en establecimientos hoteleros.

### Población residente

Tabla 94. Población residente expuesta (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Barrios afectados	Densidad de población (hab/ha)	Nº parcelas residenciales afectadas	Área de las parcelas (m²)	Área de las parcelas (ha)	Nº habitantes afectado/ barrio	Nº habitantes afectados
<b>10</b>	Pampas Coloradas	49,92	8	3521,74	0,35217	18	<b>18</b>
<b>11</b>	Pampas Coloradas	49,92	4	1052,9	0,10529	6	<b>19</b>
	La Alborada	105,73	1	1216,03	0,12160	13	
<b>27</b>	Central	34,38	0	0	0	0	<b>2</b>
	Pelican Bay	19,71	2	613,8	0,06138	2	

### Población alojada en establecimientos turísticos

Tabla 95. Población alojada en hoteles (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Barrios afectados	Número de alojamientos	Número de camas (32% ocupación)	Población afectada
<b>10</b>	Pampas Coloradas	0	0	<b>0</b>
<b>11</b>	Pampas Coloradas	0	0	<b>0</b>
	La Alborada	0	0	
<b>27</b>	Central	1	7	<b>14</b>
	Pelican Bay	1	7	

La población total expuesta para la zona 10 es de 18 personas, un 70,00% menos que en el caso inicial, donde la población afectada era de 60 personas (Tabla 18). En la zona 11, se encuentran expuestas 19 personas, un 72,86% menos, mientras que en la zona 27, 16 personas están expuestas, lo que supone una reducción del 70,37%.

De nuevo, es necesario ponderar estos valores para su normalización con el resto de resultados obtenidos de la Tabla 42.

Tabla 96. Resultados del indicador de exposición por población después de las medidas sobre la zona 10 (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Suma ponderada (alta-1,00; media-0,66)	Índice población [0-1]
1	5,94	0,08
2	39,60	0,57
3	28,38	0,41
4	15,18	0,22
5	50,00	0,71
6	7,92	0,11
7	13,86	0,20
8	0,00	0,00
9	0,00	0,00
10	11,88	0,17
11	19,00	0,27
12	21,78	0,31
13	6,60	0,09
14	16,00	0,23
15	14,52	0,21
16	19,14	0,27
17	21,78	0,31
18	31,00	0,44
19	57,00	0,81
20	12,54	0,18
21	15,84	0,23
22	29,04	0,41
23	7,92	0,11
24	7,92	0,11
25	10,56	0,15
26	3,96	0,06
27	16,00	0,23
28	25,74	0,37
29	25,00	0,36

- **Variación del indicador de exposición de equipamientos.**

A partir del área de encharcamiento se determina qué equipamientos pueden verse afectados y se pondera según nivel de amenaza e importancia del equipamiento. Así, para la zona 10, un equipamiento de importancia alta puede verse afectado (Fiscalía de Santa Cruz), así como varios comercios y establecimientos hosteleros, de baja importancia. En el caso de la zona 11, se encuentra un equipamiento de importancia alta (Mercado Municipal) y comercios calificados como de importancia baja. En la zona 27 se encuentra un equipamiento de gran relevancia (Ayuntamiento), además de comercios y establecimientos turísticos.

Tabla 97. Ponderación de equipamientos expuestos (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Nivel de amenaza	Tipo de equipamiento			Suma ponderada
		Importancia alta (1,00)	Importancia media (0,66)	Importancia baja (0,33)	
10	MEDIO	1	0	6	1,97
11	ALTO	1	0	4	2,32
27	ALTO	1	0	4	2,32

La suma ponderada para la zona 10 es 1,97, siendo un 47,13% menor que antes de las medidas. En la zona 11, este valor asciende a 2,32, un 64,90% menos que en el caso inicial. Finalmente, para la zona 27, la suma ponderada es también es de 2,32, lo que supone un 71,95% de reducción en este caso.

Finalmente, la suma ponderada se normaliza junto con los demás valores de la Tabla 44.

Tabla 98. Resultados del indicador de exposición de equipamientos después de las medidas (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Suma ponderada (alta-1,00; media-0,66)	Índice equipamientos [0-1]
1	0,66	0,08
2	1,97	0,24
3	0,65	0,08
4	0,22	0,03
5	3,30	0,40
6	0,44	0,05
7	0,87	0,11
8	0,66	0,08
9	0,44	0,05
10	1,97	0,24
11	2,32	0,28
12	1,09	0,13
13	0,44	0,05
14	0,33	0,04
15	1,10	0,13
16	1,74	0,21
17	0,44	0,05
18	0,66	0,08
19	0,33	0,04
20	0,22	0,03
21	0,00	0,00
22	1,75	0,21
23	4,82	0,58
24	2,40	0,29
25	0,22	0,03
26	0,00	0,00
27	2,32	0,28
28	4,80	0,58
29	0,33	0,04

- **Variación del indicador de exposición del viario principal.**

La longitud de la superficie de encharcamiento sobre el viario principal en la zona 10 es de 114,16 metros, un 39,72% menor que en el caso anterior, para la zona 11 es de 69,74 metros, una reducción del 53,42%. El área 27 afecta a 91,17 metros, un 65,88% menos que en el caso inicial.

Tras ponderar estos resultados según nivel de amenaza, se normalizan junto con las demás longitudes extraídas de la Tabla 45.

Tabla 99. Resultados del indicador de exposición del viario principal después de las medidas (escenario optimista)  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Longitudes ponderadas (alta-1,00; media-0,66)	Índice vías [0-1]
1	0,00	0,00
2	81,37	0,30
3	116,16	0,43
4	30,60	0,11
5	85,80	0,32
6	0,00	0,00
7	0,00	0,00
8	25,94	0,10
9	0,00	0,00
10	75,35	0,28
11	69,74	0,26
12	25,11	0,09
13	9,02	0,03
14	36,44	0,14
15	38,19	0,14
16	44,14	0,17
17	0,00	0,00
18	0,00	0,00
19	0,00	0,00
20	7,21	0,03
21	0,00	0,00
22	0,00	0,00
23	51,42	0,19
24	31,29	0,12
25	0,00	0,00
26	0,00	0,00
27	91,17	0,34
28	64,34	0,24
29	0,00	0,00



- **Resultados del índice de exposición tras las medidas.**

Los resultados de las tablas anteriores se combinan y normalizan para dar el nuevo índice de exposición.

Tabla 100. Resultados del índice de exposición después de las medidas (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Índice población [0-1]	Índice equipamientos [0-1]	Índice vías [0-1]	Total	Índice exposición [0-1]
1	0,08	0,08	0,00	0,16	0,06
2	0,57	0,24	0,30	1,11	0,4
3	0,41	0,08	0,43	0,92	0,33
4	0,22	0,03	0,11	0,36	0,13
5	0,71	0,40	0,32	1,43	0,52
6	0,11	0,05	0,00	0,16	0,06
7	0,20	0,11	0,00	0,31	0,11
8	0,00	0,08	0,10	0,18	0,06
9	0,00	0,05	0,00	0,05	0,02
10	0,17	0,24	0,28	0,69	0,25
11	0,27	0,28	0,26	0,81	0,29
12	0,31	0,13	0,09	0,53	0,19
13	0,09	0,05	0,03	0,17	0,07
14	0,23	0,04	0,14	0,41	0,15
15	0,21	0,13	0,14	0,48	0,17
16	0,27	0,21	0,17	0,65	0,23
17	0,31	0,05	0,00	0,36	0,13
18	0,44	0,08	0,00	0,52	0,19
19	0,81	0,04	0,00	0,85	0,31
20	0,18	0,03	0,03	0,24	0,08
21	0,23	0,00	0,00	0,23	0,08
22	0,41	0,21	0,00	0,62	0,23
23	0,11	0,58	0,19	0,88	0,32
24	0,11	0,29	0,12	0,52	0,19
25	0,15	0,03	0,00	0,18	0,06
26	0,06	0,00	0,00	0,06	0,02
27	0,23	0,28	0,34	0,85	0,31
28	0,37	0,58	0,24	1,19	0,43
29	0,36	0,04	0,00	0,40	0,14

#### 9.2.2.2.3 Índice de riesgo y porcentaje de reducción

El índice de vulnerabilidad no varía respecto a la situación inicial, por lo que el índice de riesgo será el producto de los nuevos índices de amenaza y exposición, y el índice de vulnerabilidad tal como aparece en la Tabla 68.

La siguiente tabla muestra los índices inicial y final, lo que permite determinar el porcentaje de reducción del riesgo.

Tabla 101. Índice de riesgo tras la aplicación de las medidas de adaptación sobre la zona 10 (escenario optimista)  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo FINAL	Índice riesgo INICIAL
1	0,01	0,06	0,88	0,00	0,00
2	0,33	0,4	0,88	0,12	0,12
3	0,35	0,33	0,91	0,10	0,10
4	0,07	0,13	0,88	0,01	0,01
5	0,495	0,52	0,88	0,22	0,22
6	0,05	0,06	0,88	0,00	0,00
7	0,04	0,11	0,70	0,00	0,00
8	0,03	0,06	0,91	0,00	0,00
9	0,02	0,02	0,91	0,00	0,00
10	0,20	0,25	0,91	0,04	0,26
11	0,35	0,29	0,89	0,09	0,76
12	0,07	0,19	0,89	0,01	0,01
13	0,02	0,07	0,89	0,00	0,00
14	0,15	0,15	0,83	0,02	0,02
15	0,12	0,17	0,83	0,02	0,02
16	0,16	0,23	0,80	0,03	0,03
17	0,05	0,13	0,89	0,01	0,01
18	0,14	0,19	0,91	0,02	0,02
19	0,18	0,31	0,89	0,05	0,05
20	0,12	0,08	1,00	0,01	0,01
21	0,05	0,08	0,90	0,00	0,00
22	0,25	0,23	0,90	0,05	0,05
23	0,28	0,32	1,00	0,09	0,09
24	0,05	0,19	0,80	0,01	0,01
25	0,10	0,06	0,90	0,01	0,01
26	0,04	0,02	0,90	0,00	0,00
27	0,24	0,31	1,00	0,07	0,67
28	0,31	0,43	1,00	0,13	0,13
29	0,15	0,14	0,90	0,02	0,02

A la vista de los resultados, se puede concluir que el riesgo sobre las zonas bajo escenario optimista de aplicación de medidas ha disminuido en un **84,62%** para la zona 10, un **88,16%** para la 11 y un **89,55%** para la 27. Por ello, según la clasificación recogida en el apartado 7.5.2, la zona 10 pasaría de estar bajo riesgo IMPORTANTE a riesgo **MODERADO**, y las zonas 11 y 27 pasarían de riesgo SEVERO a **MODERADO**.

### 9.2.2.3 Escenario pesimista

Como indica la Tabla 84, el escenario pesimista parte de:

- 20% de reducción del volumen inicial de escorrentía gracias a los pozos profundos de infiltración.
- Las zonas verdes tienen una capacidad de retención del volumen de escorrentía que discurre sobre su área del 1,8%, al encontrarse en su situación más desfavorable (intensidad alta y corta duración del evento de precipitación).

El volumen de encharcamiento después de aplicar las medidas será:

Tabla 102. Volumen de encharcamiento zona 10 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

ZONA 10	
<b>Pozos de infiltración</b>	
Volumen de encharcamiento inicial (m <sup>3</sup> ) (extraído de Tabla 27)	747,69
Volumen retenido por los pozos (m <sup>3</sup> ) (tras 20% de reducción)	149,54
<b>Espacios verdes</b>	
Área zonas verdes (m <sup>2</sup> )	260,42
Tipo de amenaza	MEDIA
Altura de encharcamiento (m)	0,25
Volumen retenido por las zonas verdes (m <sup>3</sup> ) (tomando 1,8% de capacidad de retención)	1,17
<b>Volumen total retenido (pozos de infiltración + espacios verdes) (m<sup>3</sup>)</b>	<b>150,71</b>
<b>Volumen encharcamiento después de medidas (m<sup>3</sup>)</b>	<b>596,98</b>
<b>Porcentaje de reducción de volumen de encharcamiento (%)</b>	<b>20,16</b>

Tabla 103. Volumen de encharcamiento zona 11 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

ZONA 11	
<b>Pozos de infiltración</b>	
Volumen de encharcamiento inicial (m <sup>3</sup> ) (extraído de Tabla 27)	1632,42
Volumen retenido por los pozos (m <sup>3</sup> ) (tras 20% de reducción)	326,48
<b>Espacios verdes</b>	
Área zonas verdes (m <sup>2</sup> )	588,00
Tipo de amenaza	ALTA
Altura de encharcamiento (m)	0,50
Volumen retenido por las zonas verdes (m <sup>3</sup> ) (tomando 1,8% de capacidad de retención)	5,29
<b>Volumen total retenido (pozos de infiltración + espacios verdes) (m<sup>3</sup>)</b>	<b>331,78</b>
<b>Volumen encharcamiento después de medidas (m<sup>3</sup>)</b>	<b>1300,64</b>
<b>Porcentaje de reducción de volumen de encharcamiento (%)</b>	<b>20,32</b>

Tabla 104. Volumen de encharcamiento zona 27 después de aplicar las medidas de adaptación (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

ZONA 27	
<b>Pozos de infiltración</b>	
Volumen de encharcamiento inicial (m <sup>3</sup> ) (extraído de Tabla 27)	1097,03
Volumen retenido por los pozos (m <sup>3</sup> ) (tras 20% de reducción)	219,41
<b>Espacios verdes</b>	
Área zonas verdes (m <sup>2</sup> )	271,91
Tipo de amenaza	ALTA
Altura de encharcamiento (m)	0,5
Volumen retenido por las zonas verdes (m <sup>3</sup> ) (tomando 1,8% de capacidad de retención)	2,45
Volumen total retenido (pozos de infiltración + espacios verdes) (m <sup>3</sup> )	221,85
Volumen encharcamiento después de medidas (m <sup>3</sup> )	<b>875,18</b>
Porcentaje de reducción de volumen de encharcamiento (%)	20,22

#### 9.2.2.3.1 Factor amenaza

- Variación del indicador de amenaza por volumen de encharcamiento.

Los volúmenes de encharcamiento después de aplicar las medidas son 596,98 m<sup>3</sup> (zona 10), 1300,64 m<sup>3</sup> (zona 11) y 875,18 m<sup>3</sup> (zona 27). De nuevo, se toman los volúmenes de las demás zonas de la Tabla 27 y se normalizan los resultados para obtener el nuevo índice de amenaza por volumen de encharcamiento.

Tabla 105. Resultados del indicador de amenaza por volumen de encharcamiento después de las medidas (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Volumen encharcado (m <sup>3</sup> )	Índice normalizado [0-1]
1	9,37	0,01
2	461,45	0,28
3	483,23	0,30
4	98,00	0,06
5	807,02	0,49
6	76,69	0,05
7	53,82	0,03
8	38,87	0,02
9	32,82	0,02
10	596,98	0,37
11	1300,64	0,80
12	93,81	0,06
13	21,75	0,01
14	240,42	0,15
15	169,83	0,10
16	232,01	0,14
17	73,72	0,05
18	225,33	0,14
19	286,29	0,18

20	174,46	0,11
21	67,70	0,04
22	357,48	0,22
23	390,36	0,24
24	67,75	0,04
25	142,70	0,09
26	49,55	0,03
27	875,18	0,54
28	434,76	0,27
29	243,98	0,15

- **Variación del indicador de amenaza por superficie encharcada.**

Seguidamente, se calcula la superficie de encharcamiento partiendo del volumen y la altura de inundación (0,25 metros para amenaza media o 0,50 para amenaza alta). En el cálculo de amenaza previa a las medidas se ponderó la superficie inundada según nivel de amenaza, siendo el factor de ponderación 0,66 para amenaza media y 1,00 para amenaza alta.

Tabla 106. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 10 (escenario pesimista)  
Fuente: elaboración propia.

ZONA 10	
Altura de encharcamiento amenaza alta (m)	0,25
Volumen encharcamiento final (m <sup>3</sup> )	596,98
Superficie no ponderada (m <sup>2</sup> )	2387,92
Factor de ponderación	0,66
Superficie ponderada (m <sup>2</sup> )	1576,03

Tabla 107. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 11 (escenario pesimista)  
Fuente: elaboración propia.

ZONA 11	
Altura de encharcamiento amenaza alta (m)	0,50
Volumen encharcamiento final (m <sup>3</sup> )	1300,64
Superficie no ponderada (m <sup>2</sup> )	2601,29
Factor de ponderación	1,00
Superficie ponderada (m <sup>2</sup> )	2601,29

Tabla 108. Superficie de encharcamiento después de las medidas sobre la zona 27 (escenario pesimista)  
Fuente: elaboración propia.

ZONA 27	
Altura de encharcamiento amenaza alta (m)	0,50
Volumen encharcamiento final (m <sup>3</sup> )	875,18
Superficie no ponderada (m <sup>2</sup> )	1750,35
Factor de ponderación	1,00
Superficie ponderada (m <sup>2</sup> )	1750,35

Mediante la superficie ponderada se puede para hacer la normalización a valores entre 0 y 1 junto con los valores de la Tabla 26. La superficie no ponderada será representada en el mapa para conocer la afección a equipamientos, población y vías.

Tabla 109. Resultados del indicador de amenaza por área encharcada después de las medidas (escenario pesimista)  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Superficie ponderada (alta-1,00; media-0,66) (m <sup>2</sup> )	Índice normalizado [0-1]
1	24,72	0,01
2	1218,22	0,37
3	1275,73	0,39
4	258,71	0,08
5	1614,04	0,49
6	202,46	0,06
7	142,08	0,04
8	102,60	0,03
9	86,64	0,03
10	1576,03	0,48
11	2601,29	0,80
12	247,66	0,08
13	57,41	0,02
14	480,83	0,15
15	448,34	0,14
16	612,51	0,19
17	194,61	0,06
18	450,65	0,14
19	572,58	0,18
20	460,57	0,14
21	178,73	0,05
22	943,75	0,29
23	1030,56	0,32
24	178,85	0,05
25	376,73	0,12
26	130,81	0,04
27	1750,35	0,54
28	1147,77	0,35
29	487,95	0,15

- **Resultados del índice de amenaza tras las medidas.**

Los resultados de las dos tablas anteriores se combinan y normalizan para dar el nuevo índice de amenaza.



Tabla 110. Resultados del índice de amenaza después de las medidas (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]
1	0,01	0,01	0,01	0,01
2	0,37	0,28	0,65	0,33
3	0,39	0,30	0,69	0,35
4	0,08	0,06	0,14	0,07
5	0,49	0,49	0,98	0,49
6	0,06	0,05	0,11	0,05
7	0,04	0,03	0,08	0,04
8	0,03	0,02	0,06	0,03
9	0,03	0,02	0,05	0,02
10	0,48	0,37	0,85	0,43
11	0,80	0,80	1,60	0,80
12	0,08	0,06	0,13	0,07
13	0,02	0,01	0,03	0,02
14	0,15	0,15	0,29	0,15
15	0,14	0,10	0,24	0,12
16	0,19	0,14	0,33	0,16
17	0,06	0,05	0,11	0,05
18	0,14	0,14	0,27	0,14
19	0,18	0,18	0,36	0,18
20	0,14	0,11	0,25	0,12
21	0,05	0,04	0,10	0,05
22	0,29	0,22	0,51	0,25
23	0,32	0,24	0,55	0,28
24	0,05	0,04	0,10	0,05
25	0,12	0,09	0,20	0,10
26	0,04	0,03	0,07	0,04
27	0,54	0,54	1,08	0,54
28	0,35	0,27	0,62	0,31
29	0,15	0,15	0,30	0,15

#### 9.2.2.3.2 Factor exposición

La modificación de los indicadores se determinará a partir de las representaciones aproximadas de las nuevas superficies de encharcamiento, que se pueden ver en Figura 61, Figura 62 y Figura 63.

- **Variación del indicador de exposición de población.**

De nuevo, se tendrá en cuenta tanto la población residente alrededor las zonas de encharcamiento de forma permanente como la que se encuentre alojada en establecimientos hoteleros.

### Población residente

Tabla 111. Población residente expuesta (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Barrios afectados	Densidad de población (hab/ha)	Nº parcelas residenciales afectadas	Área de las parcelas (m²)	Área de las parcelas (ha)	Nº habitantes afectado/barrio	Nº habitantes afectados
<b>10</b>	Pampas Coloradas	49,92	14	8282,28	0,828228	42	<b>42</b>
<b>11</b>	Pampas Coloradas	49,92	4	1052,9	0,10529	6	<b>43</b>
	La Alborada	105,73	7	3486,17	0,32861	37	
<b>27</b>	Central	34,38	5	1372,2	0,13722	5	<b>7</b>
	Pelican Bay	19,71	4	931,38	0,09313	2	

### Población alojada en establecimientos turísticos

Tabla 112. Población alojada en hoteles (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Barrios afectados	Número de alojamientos	Número de camas (32% ocupación)	Población afectada
<b>10</b>	Pampas Coloradas	0	0	<b>0</b>
<b>11</b>	Pampas Coloradas	0	0	<b>0</b>
	La Alborada	0	0	
<b>27</b>	Central	2	14	<b>21</b>
	Pelican Bay	1	7	

La población total expuesta en la zona 10 es de 42 personas, un 30,00% menos que previo a la aplicación de medidas. La zona 11, con 43 personas afectadas, reduce su exposición en un 38,57%. La mayor reducción se produce en la zona 27, donde se consigue pasar de 54 a 28 personas expuestas, lo que supone una disminución del 48,15%.

Seguidamente, se ponderan estos valores para su normalización con el resto de resultados de la Tabla 42.

Tabla 113. Resultados del indicador de exposición por población después de las medidas (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Suma ponderada (alta-1,00; media-0,66)	Índice población [0-1]
<b>1</b>	5,94	0,08
<b>2</b>	39,60	0,57
<b>3</b>	28,38	0,41
<b>4</b>	15,18	0,22
<b>5</b>	50,00	0,71
<b>6</b>	7,92	0,11

7	13,86	0,20
8	0,00	0,00
9	0,00	0,00
10	27,72	0,40
11	43,00	0,61
12	21,78	0,31
13	6,60	0,09
14	16,00	0,23
15	14,52	0,21
16	19,14	0,27
17	21,78	0,31
18	31,00	0,44
19	57,00	0,81
20	12,54	0,18
21	15,84	0,23
22	29,04	0,41
23	7,92	0,11
24	7,92	0,11
25	10,56	0,15
26	3,96	0,06
27	28,00	0,40
28	25,74	0,37
29	25,00	0,36

- Variación del indicador de exposición de equipamientos.**

A partir del área de encharcamiento se determina qué equipamientos pueden verse afectados y se pondera según nivel de amenaza e importancia del equipamiento. La zona 10 presenta un equipamiento de importancia alta (Fiscalía de Santa Cruz) y varios de baja importancia. Asimismo, en la zona 11 se ubica el Mercado Municipal, de importancia alta y varios comercios y establecimientos de hostelería, de baja importancia. Finalmente, en la zona 27 se encuentra el Ayuntamiento, de alta importancia, el servicio de correos, de importancia media y diversos comercios y establecimientos turísticos, de importancia baja.

Tabla 114. Ponderación de equipamientos expuestos (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Nivel de amenaza	Tipo de equipamiento			Suma ponderada
		Importancia alta (1,00)	Importancia media (0,66)	Importancia baja (0,33)	
10	MEDIO	2	0	10	3,50
11	ALTO	1	0	9	3,97
27	ALTO	1	1	9	4,63

La suma ponderada para la zona 10 es de 3,50, siendo un 5,97% menor que antes de las medidas, para la zona 11 es de 3,97, con una reducción del 39,94%, y para la zona 27 es de 4,63, un 44,01% menor.

Finalmente, la suma ponderada se normaliza junto con los demás valores de la Tabla 44.

Tabla 115. Resultados del indicador de exposición de equipamientos después de las medidas (escenario pesimista)  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Suma ponderada (alta-1,00; media-0,66)	Índice equipamientos [0-1]
1	0,66	0,08
2	1,97	0,24
3	0,65	0,08
4	0,22	0,03
5	3,30	0,40
6	0,44	0,05
7	0,87	0,11
8	0,66	0,08
9	0,44	0,05
10	3,50	0,42
11	3,97	0,48
12	1,09	0,13
13	0,44	0,05
14	0,33	0,04
15	1,10	0,13
16	1,74	0,21
17	0,44	0,05
18	0,66	0,08
19	0,33	0,04
20	0,22	0,03
21	0,00	0,00
22	1,75	0,21
23	4,82	0,58
24	2,40	0,29
25	0,22	0,03
26	0,00	0,00
27	4,63	0,56
28	4,80	0,58
29	0,33	0,04

- **Variación del indicador de exposición de viario principal.**

La longitud de la superficie de encharcamiento sobre vías principales en la zona 10 es de 144,94 metros, un 23,46% menor que en el caso anterior, mientras que para la zona 11 es de 116,17 metros, un 22,40% menor. La zona 27 provoca una afección sobre las vías principales de 171,21 metros, lo que reduce en un 35,93% el resultado inicial. Tras ponderar estos resultados según nivel de amenaza, se normalizan junto con las demás longitudes extraídas de la Tabla 45.

Tabla 116. Resultados del indicador de exposición del viario principal después de las medidas (escenario pesimista)  
Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Longitudes ponderadas (alta-1,00; media-0,66)	Índice vías [0-1]
1	0,00	0,00
2	81,37	0,30
3	116,16	0,43
4	30,60	0,11
5	85,80	0,32
6	0,00	0,00
7	0,00	0,00
8	25,94	0,10
9	0,00	0,00
10	95,66	0,36
11	116,17	0,43
12	25,11	0,09
13	9,02	0,03
14	36,44	0,14
15	38,19	0,14
16	44,14	0,17
17	0,00	0,00
18	0,00	0,00
19	0,00	0,00
20	7,21	0,03
21	0,00	0,00
22	0,00	0,00
23	51,42	0,19
24	31,29	0,12
25	0,00	0,00
26	0,00	0,00
27	171,21	0,64
28	64,34	0,24
29	0,00	0,00

- **Resultados del índice de exposición tras las medidas.**

los resultados de las tablas anteriores se combinan y normalizan para dar el nuevo índice de exposición.

Tabla 117. Resultados del índice de exposición después de las medidas (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Índice población [0-1]	Índice equipamientos [0-1]	Índice vías [0-1]	Total	Índice exposición [0-1]
1	0,08	0,08	0,00	0,16	0,06
2	0,57	0,24	0,30	1,11	0,40
3	0,41	0,08	0,43	0,92	0,33
4	0,22	0,03	0,11	0,36	0,13
5	0,71	0,40	0,32	1,43	0,52
6	0,11	0,05	0,00	0,16	0,06
7	0,20	0,11	0,00	0,31	0,11
8	0,00	0,08	0,10	0,18	0,06
9	0,00	0,05	0,00	0,05	0,02
10	0,40	0,42	0,36	1,18	0,42
11	0,61	0,48	0,43	1,52	0,55
12	0,31	0,13	0,09	0,53	0,19
13	0,09	0,05	0,03	0,17	0,07
14	0,23	0,04	0,14	0,41	0,15
15	0,21	0,13	0,14	0,48	0,17
16	0,27	0,21	0,17	0,65	0,23
17	0,31	0,05	0,00	0,36	0,13
18	0,44	0,08	0,00	0,52	0,19
19	0,81	0,04	0,00	0,85	0,31
20	0,18	0,03	0,03	0,24	0,08
21	0,23	0,00	0,00	0,23	0,08
22	0,41	0,21	0,00	0,62	0,23
23	0,11	0,58	0,19	0,88	0,32
24	0,11	0,29	0,12	0,52	0,19
25	0,15	0,03	0,00	0,18	0,06
26	0,06	0,00	0,00	0,06	0,02
27	0,40	0,56	0,64	1,60	0,58
28	0,37	0,58	0,24	1,19	0,43
29	0,36	0,04	0,00	0,40	0,14

#### 9.2.2.3.3 Índice de riesgo y porcentaje de reducción

El índice de riesgo será el producto de los nuevos índices de amenaza y exposición, y el índice de vulnerabilidad tal como aparece en la Tabla 68.

La siguiente tabla muestra los índices inicial y final, lo que permite determinar el porcentaje de reducción del riesgo.



Tabla 118. Índice de riesgo tras la aplicación de las medidas de adaptación (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

Nº zona	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo FINAL	Índice riesgo INICIAL
1	0,01	0,06	0,88	0,00	0,00
2	0,33	0,4	0,88	0,12	0,12
3	0,35	0,33	0,91	0,10	0,10
4	0,07	0,13	0,88	0,01	0,01
5	0,495	0,52	0,88	0,22	0,22
6	0,05	0,06	0,88	0,00	0,00
7	0,04	0,11	0,70	0,00	0,00
8	0,03	0,06	0,91	0,00	0,00
9	0,02	0,02	0,91	0,00	0,00
10	0,43	0,42	0,91	0,16	0,26
11	0,80	0,55	0,89	0,39	0,76
12	0,07	0,19	0,89	0,01	0,01
13	0,02	0,07	0,89	0,00	0,00
14	0,15	0,15	0,83	0,02	0,02
15	0,12	0,17	0,83	0,02	0,02
16	0,16	0,23	0,80	0,03	0,03
17	0,05	0,13	0,89	0,01	0,01
18	0,14	0,19	0,91	0,02	0,02
19	0,18	0,31	0,89	0,05	0,05
20	0,12	0,08	1,00	0,01	0,01
21	0,05	0,08	0,90	0,00	0,00
22	0,25	0,23	0,90	0,05	0,05
23	0,28	0,32	1,00	0,09	0,09
24	0,05	0,19	0,80	0,01	0,01
25	0,10	0,06	0,90	0,01	0,01
26	0,04	0,02	0,90	0,00	0,00
27	0,54	0,58	1,00	0,31	0,67
28	0,31	0,43	1,00	0,13	0,13
29	0,15	0,14	0,90	0,02	0,02

Los resultados muestran que el riesgo bajo escenario pesimista de aplicación de medidas ha disminuido en un **38,46%** para la zona 10, un **48,68%** para la 11 y un **53,73%** para la 27. Siguiendo la clasificación recogida en el apartado 7.5.2, la zona 10 se mantendría bajo riesgo **IMPORTANTE**, aunque con un nivel más bajo, y las zonas 11 y 27 pasarían de riesgo SEVERO a **IMPORTANTE**.

#### 9.2.2.4 Superficies de encharcamiento según escenario

Finalmente se puede ver la aproximación de las superficies de encharcamiento bajo los escenarios optimista y pesimista, en los que se basan los resultados anteriores.

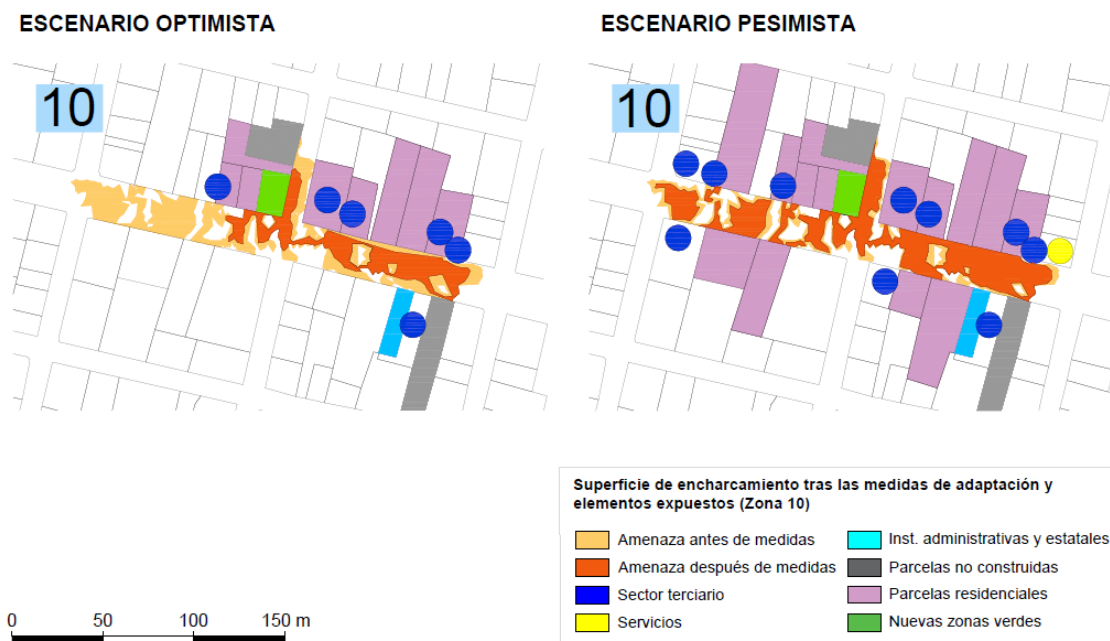


Figura 61. Aproximación de superficies de encharcamiento y elementos expuestos tras la aplicación de medidas de adaptación sobre el área 10 bajo escenario optimista y pesimista  
Fuente: elaboración propia.

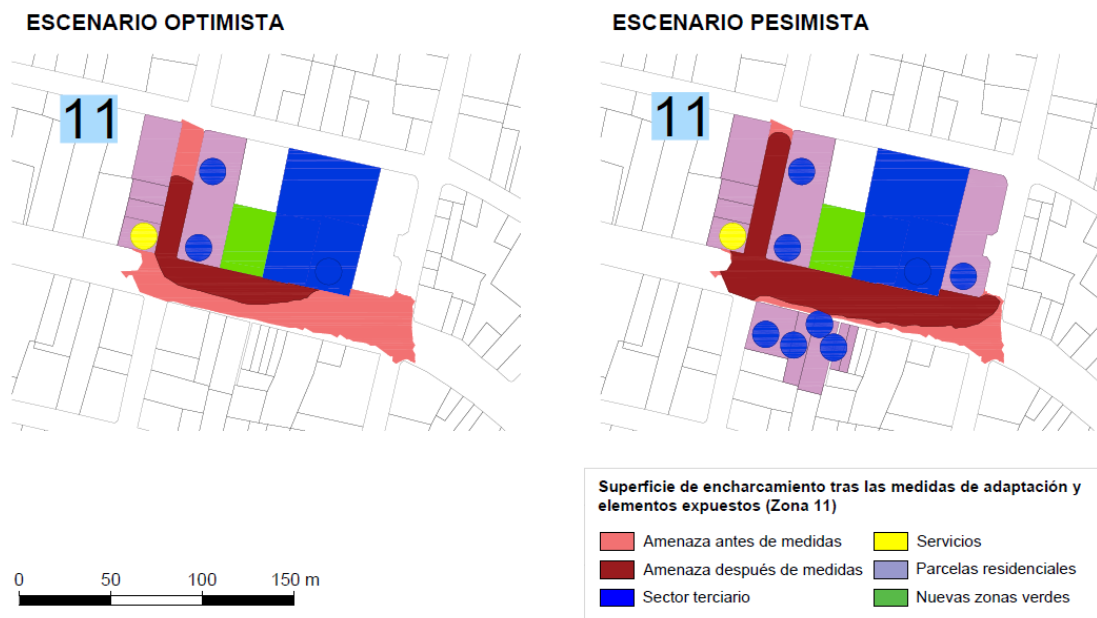


Figura 62. Aproximación de superficies de encharcamiento y elementos expuestos tras la aplicación de medidas de adaptación sobre el área 11 bajo escenario optimista y pesimista  
Fuente: elaboración propia.

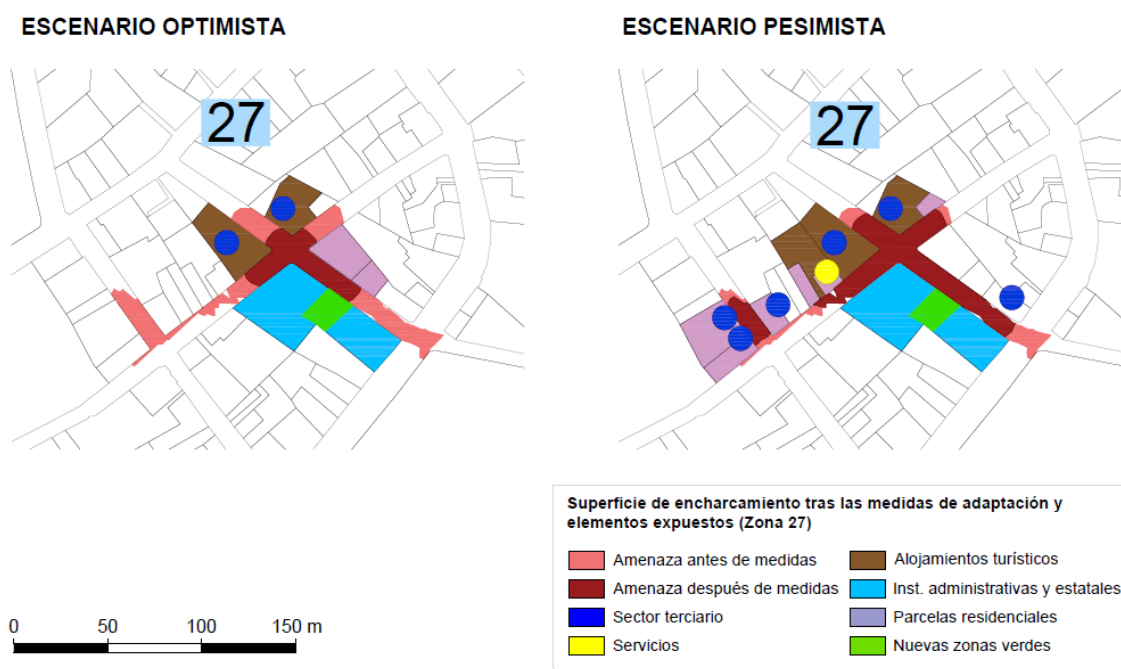


Figura 63. Aproximación de superficies de encharcamiento y elementos expuestos tras la aplicación de medidas de adaptación sobre la zona 27 bajo escenario optimista y pesimista  
Fuente: elaboración propia.

### 9.2.3 Resultados del índice final de riesgo por barrios

Los resultados de los indicadores por zonas recogidos a lo largo del apartado anterior, se pueden aplicar a los barrios, de manera que se pueda determinar su variación del índice de riesgo tras aplicar las medidas de adaptación.

La mejoría del riesgo de *Pampas Coloradas* se asocia principalmente con la reducción del riesgo en la zona 10, aunque también está afectada por la zona 11 en su parte más oriental. *La Alborada*, disminuirá su riesgo conforme lo haga la zona 11 y el riesgo en *Central* está relacionado con la zona 27. Asimismo, la zona 27 también afecta en menor medida a *Pelican Bay*, por lo que el nivel de riesgo de este barrio también disminuirá tras la aplicación de medidas, pese a no ser uno de los barrios piloto.

La metodología será la misma que se ha seguido para la determinación del riesgo por zonas, calculando nuevos valores bajo una hipótesis optimista y una pesimista, y normalizando los resultados en base a los originales.

#### 9.2.3.1 Escenario optimista

##### 9.2.3.1.1 Factor amenaza

- **Variación del indicador de amenaza por superficie encharcada.**

Tomando los datos de la Tabla 23 y modificando sus datos en base a la reducción de área encharcada en las zonas piloto tras aplicar las medidas, se obtiene el nuevo indicador de área encharcada por barrios.

Tabla 119. Resultados de indicador de amenaza por área encharcada después de las medidas, análisis barrial (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Barrio	Área amenaza alta (m <sup>2</sup> ) (1,00)	Área amenaza media (m <sup>2</sup> ) (0,66)	Suma ponderada	Índice área [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>675,7</b>	<b>3337,84</b>	<b>2878,67</b>	<b>0,65</b>
Miraflores	1614,04	2171,74	3047,39	0,68
El Edén	0,00	625,53	412,85	0,09
Las Acacias	480,83	1048,79	1173,03	0,26
<b>La Alborada</b>	<b>1476,97</b>	<b>918,9</b>	<b>2083,44</b>	<b>0,47</b>
<b>Central</b>	<b>473,313</b>	<b>3593,49</b>	<b>2845,02</b>	<b>0,64</b>
Las Ninfas	487,95	2280,44	1993,04	0,45
Pelican Bay	322,743	1262,07	1155,71	0,26

- Variación del indicador de amenaza por volumen de encharcamiento**

Partiendo de los datos de la Tabla 24, y siguiendo la misma metodología, se obtiene:

Tabla 120. Resultados de indicador de amenaza por volumen de encharcamiento después de las medidas, análisis barrial (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Barrio	Área amenaza media (m <sup>2</sup> )	Área amenaza alta (m <sup>2</sup> )	Volumen encharcado (m <sup>3</sup> ) (alta - 0,5m; media - 0,25m)	Índice volumen [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>3337,84</b>	<b>675,70</b>	<b>1172,31</b>	<b>0,63</b>
Miraflores	2171,74	1614,04	1349,96	0,72
El Edén	625,53	0,00	156,38	0,08
Las Acacias	1048,79	480,83	502,61	0,27
<b>La Alborada</b>	<b>918,9</b>	<b>1476,97</b>	<b>968,21</b>	<b>0,52</b>
<b>Central</b>	<b>3593,49</b>	<b>473,31</b>	<b>1135,03</b>	<b>0,61</b>
Las Ninfas	2280,44	487,95	814,09	0,44
Pelican Bay	1262,07	322,74	476,89	0,26

- Resultados del índice de amenaza tras las medidas.**

Combinando los resultados de las tablas anteriores y normalizando en base a los resultados iniciales se obtiene el nuevo índice de amenaza.

Tabla 121. Resultados de índice de amenaza por barrios tras aplicar las medidas (escenario optimista)

Fuente: elaboración propia.

Barrio	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>0,65</b>	<b>0,63</b>	<b>1,27</b>	<b>0,65</b>
Miraflores	0,68	0,72	1,41	0,71
El Edén	0,09	0,08	0,18	0,09
Las Acacias	0,26	0,27	0,53	0,27
<b>La Alborada</b>	<b>0,47</b>	<b>0,52</b>	<b>0,99</b>	<b>0,50</b>
<b>Central</b>	<b>0,64</b>	<b>0,61</b>	<b>1,25</b>	<b>0,63</b>
Las Ninfas	0,45	0,44	0,88	0,45
Pelican Bay	0,26	0,26	0,52	0,26

Se observa que los barrios en lo que no se han tomado medidas mantienen su índice de amenaza, mientras que se reduce para los barrios piloto.

#### 9.2.3.1.2 Factor exposición

A partir de los datos del apartado anterior, se puede conocer de qué manera se reduce la exposición de los barrios en cuanto a población, equipamientos y vías expuestas, teniendo en cuenta la reducción ocurrida en cada zona de forma individual. De esta forma se puede determinar el nuevo índice de exposición de los barrios piloto.

- **Variación del indicador de exposición de población.**

Tomando como referencia los resultados de la Tabla 36 y los datos del apartado 9.2.2.2, donde se muestra la variación de población residente y alojada:

Tabla 122. Índice de exposición de población por barrios (escenario optimista).  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Pobl. total barrio	Pobl. amenaza media (0,66)	Pobl. amenaza alta (1,00)	Suma ponderada	Porcentaje ponderado respecto al total	Índice población [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>1193</b>	<b>61</b>	<b>37</b>	<b>77,26</b>	<b>6,48</b>	<b>0,35</b>
Miraflores	1502	101	50	116,66	7,77	0,42
El Edén	970	27	0	17,82	1,84	0,10
Las Acacias	746	33	16	37,78	5,06	0,27
<b>La Alborada</b>	<b>1056</b>	<b>104</b>	<b>70</b>	<b>138,64</b>	<b>13,13</b>	<b>0,70</b>
<b>Central</b>	<b>415</b>	<b>63</b>	<b>7</b>	<b>48,58</b>	<b>11,71</b>	<b>0,63</b>
Las Ninfas	489	52	25	59,32	12,13	0,65
Pelican Bay	447	44	9	38,04	8,51	0,46

- **Variación del indicador de exposición de equipamientos.**

Partiendo de los resultados de la Tabla 37 y aplicando los resultados de la Tabla 98, se calcula un nuevo valor ponderado según importancia de los equipamientos y nivel de amenaza en el que se tenga en cuenta la reducción tras las medidas.

Tabla 123. Ponderación de equipamientos expuestos por barrios (escenario optimista).  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Importancia alta (1,00)		Importancia media (0,66)		Importancia baja (0,33)		Total ponderado
	Am. Alta (1,00)	Am. Media (0,66)	Am. Alta (1,00)	Am. Media (0,66)	Am. Alta (1,00)	Am. Media (0,66)	
Pampas Coloradas		2		1	3	11	5,14
La Alborada	1			1	6	7	4,94
Central	1	6	0	1	2	24	11,28

La siguiente tabla muestra el índice de exposición de equipamientos por barrios derivado de este análisis.

Tabla 124. Índice de exposición de equipamientos por barrios (escenario optimista).  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Total	Índice de equipamientos [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>5,14</b>	<b>0,33</b>
Miraflores	4,94	0,32
El Edén	2,40	0,15
Las Acacias	1,64	0,11
<b>La Alborada</b>	<b>4,94</b>	<b>0,32</b>
<b>Central</b>	<b>11,28</b>	<b>0,72</b>
Las Ninfas	2,30	0,15
Pelican Bay	4,59	0,29

- **Variación del indicador de exposición del viario principal.**

Para obtener el índice de exposición del viario principal, se toma como base la Tabla 39, modificándola en función de la reducción de exposición de cada vía.

Tabla 125. Ponderación de viario principal expuesto por barrios (escenario optimista).  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Vía	Longitud vía principal en barrio	Longitud amenaza media (0,66)	Longitud amenaza alta (1,00)	Total ponderado	Porcentaje respecto a longitud total (%)
Pampas Coloradas	Avda. Baltra	643,00	114,16	0,00	75,35	11,72
	Gral. Rdguez. Lara	252,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Petrel	189,00	176,00	0,00	116,16	61,46
	TOTAL	1084,00	290,16	0,00	191,51	17,67
La Alborada	Avda. Baltra	357,00	0,00	69,74	69,74	19,54
	Gral. Rdguez. Lara	211,00	38,40	0,00	25,34	12,01
	San Cristóbal	191,00	13,67	0,00	9,02	4,72
	TOTAL	759,00	52,07	69,74	104,11	13,72
Central	Avda. Baltra	393,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Avda. Charles Darwin	225,00	97,49	0,00	64,34	28,60
	Gral. Rdguez. Lara	181,00	83,38	0,00	55,03	30,40
	Tomás de Berlanga	243,00	0,00	26,06	26,06	10,72
	12 de Febrero	238,00	0,00	52,03	52,03	21,86
	TOTAL	1280,00	180,87	78,09	197,46	15,43



Tabla 126. Índice de exposición de viario principal por barrios (escenario optimista).

Fuente: elaboración propia.

Barrio	Porcentaje respecto a longitud total (%)	Índice vías [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>17,67</b>	<b>0,65</b>
Miraflores	18,68	0,69
El Edén	4,03	0,15
Las Acacias	7,72	0,28
<b>La Alborada</b>	<b>13,72</b>	<b>0,51</b>
<b>Central</b>	<b>15,43</b>	<b>0,57</b>
Las Ninfas	0,00	0,00
Pelican Bay	15,42	0,57

- Resultados del índice de exposición tras las medidas.**

Combinando las tablas anteriores se obtiene el índice de exposición por barrios bajo escenario optimista de aplicación de medidas.

Tabla 127. Índice de exposición por barrios (escenario optimista).

Fuente: elaboración propia.

Barrio	Índice población [0-1]	Índice equip, [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Total	Índice exposición [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>0,35</b>	<b>0,33</b>	<b>0,65</b>	<b>1,33</b>	<b>0,44</b>
Miraflores	0,42	0,32	0,69	1,42	0,47
El Edén	0,10	0,15	0,15	0,40	0,13
Las Acacias	0,27	0,11	0,28	0,66	0,22
<b>La Alborada</b>	<b>0,70</b>	<b>0,32</b>	<b>0,51</b>	<b>1,53</b>	<b>0,51</b>
<b>Central</b>	<b>0,63</b>	<b>0,72</b>	<b>0,57</b>	<b>1,92</b>	<b>0,64</b>
Las Ninfas	0,65	0,15	0,00	0,80	0,27
Pelican Bay	0,46	0,29	0,57	1,32	0,44

### 9.2.3.1.3 Índice de riesgo y porcentaje de reducción

De nuevo, el índice de vulnerabilidad no varía respecto a la situación inicial, por lo que el índice de riesgo será el producto de los nuevos índices de amenaza y exposición, y el índice de vulnerabilidad tal como aparece en la Tabla 67.

La siguiente tabla muestra los índices inicial y final, lo que permite determinar el porcentaje de reducción del riesgo.

Tabla 128. Índice de riesgo por barrios tras la aplicación de medidas de adaptación (escenario optimista)  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo FINAL	Índice riesgo INICIAL
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>0,65</b>	<b>0,44</b>	<b>0,91</b>	<b>0,26</b>	<b>0,59</b>
Miraflores	0,71	0,47	0,88	0,30	0,30
El Edén	0,09	0,13	0,70	0,01	0,01
Las Acacias	0,27	0,22	0,83	0,05	0,05
<b>La Alborada</b>	<b>0,50</b>	<b>0,51</b>	<b>0,89</b>	<b>0,23</b>	<b>0,64</b>
<b>Central</b>	<b>0,63</b>	<b>0,64</b>	<b>1,00</b>	<b>0,41</b>	<b>0,88</b>
Las Ninfas	0,45	0,27	0,90	0,11	0,11
Pelican Bay	0,36	0,59	0,80	0,09	0,17

A la vista de los resultados se observa que el riesgo en *Pampas Coloradas* disminuye en un **55,93%**, un **64,06%** en *La Alborada* y un **53,41%** en *Central*. Según la clasificación del riesgo establecida en el apartado 7.5.1, *Pampas Coloradas* mantiene un riesgo **MEDIO**, mientras que, tanto *La Alborada* como *Central*, pasan de un riesgo de encharcamiento **ALTO** a **MEDIO**.

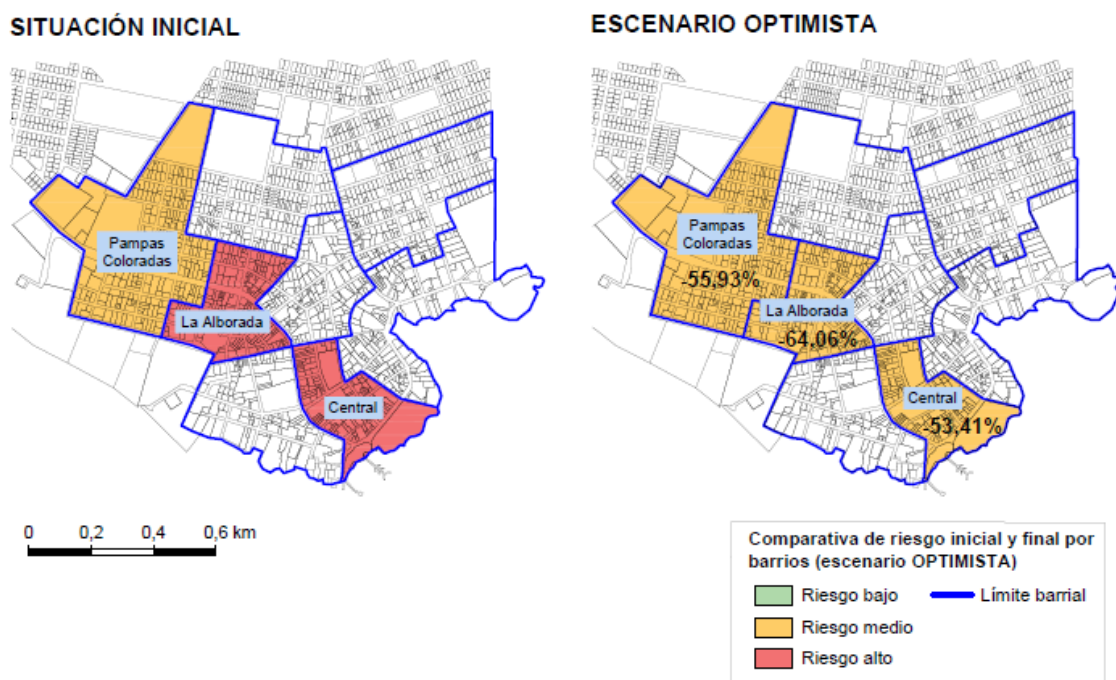


Figura 64. Comparativa del nivel de riesgo entre las situaciones inicial y final bajo escenario optimista  
Fuente: elaboración propia

### 9.2.3.2 Escenario pesimista

#### 9.2.3.2.1 Factor amenaza

- **Variación del indicador de amenaza por superficie encharcada.**

Tomando como referencia los datos de la Tabla 23 y la reducción del área encharcada en las zonas piloto bajo escenario pesimista, se obtiene el nuevo indicador de área encharcada por barrios.

Tabla 129. Resultados de indicador de amenaza por área encharcada después de las medidas, análisis barrial (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

Barrio	Área amenaza alta (m <sup>2</sup> ) (1,00)	Área amenaza media (m <sup>2</sup> ) (0,66)	Suma ponderada	Índice área [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>903,85</b>	<b>4607,58</b>	<b>3944,85</b>	<b>0,88</b>
Miraflores	1614,04	2171,74	3047,39	0,68
El Edén	0,00	625,53	412,85	0,09
Las Acacias	480,83	1048,79	1173,03	0,26
<b>La Alborada</b>	<b>2720,57</b>	<b>918,9</b>	<b>3327,04</b>	<b>0,75</b>
<b>Central</b>	<b>1162,983</b>	<b>3593,49</b>	<b>3534,69</b>	<b>0,79</b>
Las Ninfas	487,95	2280,44	1993,04	0,45
Pelican Bay	572,38	1262,07	1405,35	0,32

- **Variación del indicador de amenaza por volumen de encharcamiento**

A partir de los datos de la Tabla 24, se obtiene:

Tabla 130. Resultados de indicador de amenaza por volumen de encharcamiento después de las medidas, análisis barrial (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

Barrio	Área amenaza media (m <sup>2</sup> )	Área amenaza alta (m <sup>2</sup> )	Volumen encharcado (m <sup>3</sup> ) (alta – 0,5m; media – 0,25m)	Índice volumen [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>4607,58</b>	<b>903,85</b>	<b>1603,82</b>	<b>0,86</b>
Miraflores	2171,74	1614,04	1349,96	0,72
El Edén	625,53	0,00	156,38	0,08
Las Acacias	1048,79	480,83	502,61	0,27
<b>La Alborada</b>	<b>918,90</b>	<b>2720,57</b>	<b>1590,01</b>	<b>0,85</b>
<b>Central</b>	<b>3593,49</b>	<b>1162,98</b>	<b>1479,86</b>	<b>0,79</b>
Las Ninfas	2280,44	487,95	814,09	0,44
Pelican Bay	1262,07	572,38	601,71	0,32

- **Resultados del índice de amenaza tras las medidas.**

Combinando los resultados de las dos tablas anteriores se obtiene el índice de amenaza bajo escenario pesimista de aplicación de medidas.

Tabla 131. Resultados de índice de amenaza por barrios tras aplicar las medidas (escenario pesimista)  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Índice área [0-1]	Índice volumen [0-1]	Total	Índice amenaza [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>0,88</b>	<b>0,86</b>	<b>1,75</b>	<b>0,89</b>
Miraflores	0,68	0,72	1,41	0,71
El Edén	0,09	0,08	0,18	0,09
Las Acacias	0,26	0,27	0,53	0,27
<b>La Alborada</b>	<b>0,75</b>	<b>0,85</b>	<b>1,60</b>	<b>0,81</b>
<b>Central</b>	<b>0,79</b>	<b>0,79</b>	<b>1,59</b>	<b>0,81</b>
Las Ninfas	0,45	0,44	0,88	0,45
Pelican Bay	0,32	0,32	0,64	0,32

#### 9.2.3.2.2 Factor exposición

Conociendo los equipamientos, población y vías expuestos tras la aplicación de medidas en las zonas 10, 11 y 27 bajo escenario pesimista, se calculan los índices correspondientes para obtener el índice de exposición.

- **Variación del indicador de exposición de población.**

Tomando como referencia los resultados de Tabla 36, Tabla 111 y Tabla 112:

Tabla 132. Índice de exposición de población por barrios (escenario pesimista).  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Pobl. total barrio	Pobl. amenaza media (0,66)	Pobl. amenaza alta (1,00)	Suma ponderada	Porcentaje ponderado respecto al total	Índice población [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>1193</b>	<b>85</b>	<b>37</b>	<b>93,10</b>	<b>7,80</b>	<b>0,42</b>
Miraflores	1502	101	50	116,66	7,77	0,42
El Edén	970	27	0	17,82	1,84	0,10
Las Acacias	746	33	16	37,78	5,06	0,27
<b>La Alborada</b>	<b>1056</b>	<b>104</b>	<b>94</b>	<b>162,64</b>	<b>15,40</b>	<b>0,82</b>
<b>Central</b>	<b>415</b>	<b>63</b>	<b>19</b>	<b>60,58</b>	<b>14,60</b>	<b>0,78</b>
Las Ninfas	489	52	25	59,32	12,13	0,65
Pelican Bay	447	44	9	38,04	8,51	0,46

- **Variación del indicador de exposición de equipamientos.**

Partiendo de los resultados de la Tabla 37 y teniendo en cuenta la reducción de exposición, se calcula la nueva ponderación de equipamientos expuestos.

Tabla 133. Ponderación de equipamientos expuestos por barrios (escenario pesimista).  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Importancia alta (1,00)		Importancia media (0,66)		Importancia baja (0,33)		Total ponderado
	Am. Alta (1,00)	Am. Media (0,66)	Am. Alta (1,00)	Am. Media (0,66)	Am. Alta (1,00)	Am. Media (0,66)	
Pampas Coloradas		3		1	3	15	6,67
La Alborada	1			1	11	7	6,59
Central	1	6	1	1	4	24	12,60

El índice de exposición de equipamientos resultante es:

Tabla 134. Índice de exposición de equipamientos por barrios (escenario pesimista).  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Total	Índice equipamientos [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>6,67</b>	<b>0,43</b>
Miraflores	4,94	0,32
El Edén	2,40	0,15
Las Acacias	1,64	0,11
<b>La Alborada</b>	<b>6,59</b>	<b>0,42</b>
<b>Central</b>	<b>12,60</b>	<b>0,81</b>
Las Ninfas	2,30	0,15
Pelican Bay	4,92	0,32

- **Variación del indicador de exposición del viario principal.**

De nuevo, tomando como referencia la Tabla 39 en la que se detalla la longitud de área de encharcamiento sobre una vía principal, se calcula la nueva ponderación de longitud expuesta.

Tabla 135. Ponderación de viario principal expuesto por barrios (escenario pesimista).  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Vía	Longitud vía principal en barrio	Longitud amenaza media (0,66)	Longitud amenaza alta (1,00)	Total ponderado	Porcentaje respecto a longitud total (%)
<b>Pampas Coloradas</b>	Avda. Baltra	643,00	144,94	16,95	112,61	17,51
	Gral. Rdguez. Lara	252,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Petrel	189,00	176,00	0,00	116,16	61,46
	<b>TOTAL</b>	1084,00	320,94	16,95	228,77	21,10
<b>La Alborada</b>	Avda. Baltra	357,00	0,00	99,22	99,22	27,79
	Gral. Rdguez. Lara	211,00	38,40	0,00	25,34	12,01
	San Cristóbal	191,00	13,67	0,00	9,02	4,72
	<b>TOTAL</b>	759,00	52,07	99,22	133,59	17,60
<b>Central</b>	Avda. Baltra	393,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Avda. Charles Darwin	225,00	97,49	7,74	72,08	32,04
Gral. Rdguez. Lara	181,00	83,38	0,00	55,03	30,40
Tomás de Berlanga	243,00	0,00	49,29	49,29	20,28
12 de Febrero	238,00	0,00	94,04	94,04	39,51
<b>TOTAL</b>	<b>1280,00</b>	<b>180,87</b>	<b>151,07</b>	<b>270,44</b>	<b>21,13</b>

Tabla 136. Índice de exposición de viario principal por barrios (escenario pesimista).  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Porcentaje respecto a longitud total (%)	Índice vías [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>21,10</b>	<b>0,78</b>
Miraflores	18,68	0,69
El Edén	4,03	0,15
Las Acacias	7,72	0,28
<b>La Alborada</b>	<b>17,60</b>	<b>0,65</b>
<b>Central</b>	<b>21,13</b>	<b>0,78</b>
Las Ninfas	0,00	0,00
Pelican Bay	19,48	0,72

- Resultados del índice de exposición tras las medidas.**

Sumando los índices anteriores y normalizando según la situación inicial se obtiene el índice de exposición por barrios para aplicación de medidas en situación pesimista.

Tabla 137. Índice de exposición por barrios (escenario pesimista).  
Fuente: elaboración propia.

Barrio	Índice población [0-1]	Índice equip. [0-1]	Índice vías principales [0-1]	Total	Índice exposición [0-1]
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>0,42</b>	<b>0,43</b>	<b>0,78</b>	<b>1,62</b>	<b>0,54</b>
Miraflores	0,42	0,32	0,69	1,42	0,47
El Edén	0,10	0,15	0,15	0,40	0,13
Las Acacias	0,27	0,11	0,28	0,66	0,22
<b>La Alborada</b>	<b>0,82</b>	<b>0,42</b>	<b>0,65</b>	<b>1,90</b>	<b>0,63</b>
<b>Central</b>	<b>0,78</b>	<b>0,81</b>	<b>0,78</b>	<b>2,37</b>	<b>0,79</b>
Las Ninfas	0,65	0,15	0,00	0,80	0,27
Pelican Bay	0,46	0,32	0,72	1,49	0,50

### 9.2.3.2.3 Índice de riesgo y porcentaje de reducción

La siguiente tabla muestra el índice de riesgo resultante de los índices de amenaza y exposición calculados a lo largo de este apartado.



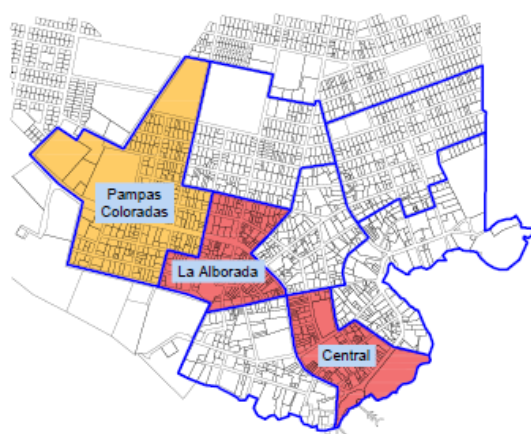
Tabla 138. Índice de riesgo por barrios tras la aplicación de medidas de adaptación (escenario pesimista)

Fuente: elaboración propia.

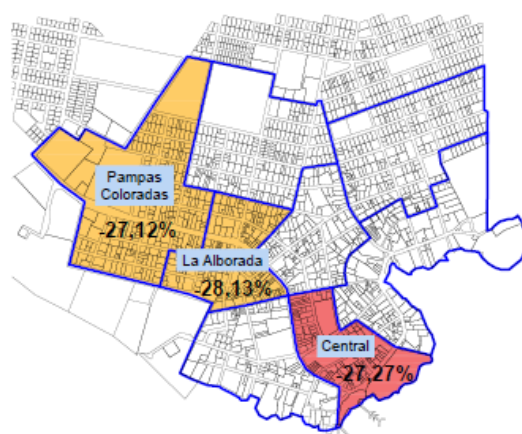
Barrio	Índice amenaza [0-1]	Índice exposición [0-1]	Índice vulnerabilidad [0-1]	Índice riesgo FINAL	Índice riesgo INICIAL
<b>Pampas Coloradas</b>	<b>0,89</b>	<b>0,54</b>	<b>0,91</b>	<b>0,43</b>	<b>0,59</b>
Miraflores	0,71	0,47	0,88	0,30	0,30
El Edén	0,09	0,13	0,70	0,01	0,01
Las Acacias	0,27	0,22	0,83	0,05	0,05
<b>La Alborada</b>	<b>0,81</b>	<b>0,63</b>	<b>0,89</b>	<b>0,46</b>	<b>0,64</b>
<b>Central</b>	<b>0,81</b>	<b>0,79</b>	<b>1,00</b>	<b>0,64</b>	<b>0,88</b>
Las Ninfas	0,45	0,27	0,90	0,11	0,11
Pelican Bay	0,32	0,50	0,80	0,13	0,17

Los resultados muestran que la reducción del riesgo es considerablemente menor que en la situación optimista. En *Pampas Coloradas* disminuye en un **27,12%**, en *La Alborada* un **28,13%** y un **27,27%** en *Central*. Según la clasificación del riesgo establecida en el apartado 7.5.1, *Pampas Coloradas* mantiene un riesgo **MEDIO** y *Central* un riesgo **ALTO**, a pesar de la reducción del índice. El único barrio que mejora su clasificación inicial es *La Alborada*, que disminuye de riesgo **ALTO** a **MEDIO**.

SITUACIÓN INICIAL



ESCENARIO PESIMISTA



0 0,2 0,4 0,6 km

Comparativa de riesgo inicial y final por barrios (escenario PESIMISTA)

- Riesgo bajo
- Riesgo medio
- Riesgo alto
- Límite barrial

Figura 65. Comparativa del nivel de riesgo entre las situaciones inicial y final bajo escenario pesimista

Fuente: elaboración propia

## 9.2.4 Valoración de los resultados de reducción de riesgos por las medidas

A continuación, se puede ver un resumen del porcentaje de reducción en los resultados de los indicadores respecto a la situación inicial para las zonas piloto, así como la variación del riesgo.

Tabla 139. Reducción de índices de indicadores y riesgo para todas las zonas y escenarios

Fuente: elaboración propia.

	ZONA 10		ZONA 11		ZONA 27	
	Escenario optimista	Escenario pesimista	Escenario optimista	Escenario pesimista	Escenario optimista	Escenario pesimista
Reducción de volumen de encharcamiento (%)	62,61	20,16	65,40	20,32	63,72	20,22
Reducción de área encharcada (%)	62,61	20,16	65,40	20,32	63,72	20,22
Reducción de población expuesta (%)	70,00	30,00	72,86	38,57	70,37	48,15
Reducción de equipamientos expuestos (%)	47,13	5,97	64,90	39,94	71,95	44,01
Reducción de vías expuestas (%)	39,72	23,46	53,42	22,40	65,88	35,93
<b>REDUCCIÓN DE RIESGOS (%)</b>	<b>84,62</b>	<b>38,46</b>	<b>88,16</b>	<b>48,68</b>	<b>89,55</b>	<b>53,73</b>

A lo largo de este análisis se ha conseguido demostrar la eficacia de las medidas de adaptación propuestas en la reducción del riesgo asociado a los encharcamientos. No obstante, no en todas las zonas se ha podido llegar a los mismos niveles, destacando la mejora conseguida en la zona 27, con un 89,55% de reducción del riesgo para el escenario optimista y un 53,73% para el pesimista.

En este caso, se ha conseguido eliminar la exposición sobre un 70,37% de la población inicialmente amenaza bajo escenario optimista, del que un 87,5% es población alojada en establecimientos turísticos, y únicamente un 12,5% población residente en el área afectada. Bajo un escenario pesimista, se reduce la exposición en 48,15%, donde tres cuartas partes corresponden a alojamientos y el resto a población residente.

Respecto a los equipamientos de la zona 27, en el escenario pesimista se consigue eliminar la exposición sobre un edificio gubernamental localizado en la calle Islas Plaza y algunos alojamientos y locales comerciales y de restauración, mientras en el escenario optimista, la oficina de correos también ha dejado de estar expuesta. Por ello, la mejora en cuanto a exposición de equipamientos oscila entre 44,01% y 71,95% para cada escenario.

En cuanto a las vías principales expuestas, se consigue una importante reducción bajo el escenario optimista (65,88%) ya que disminuye notablemente la afección sobre las calles Tomás de Berlanga y 12 de febrero y desaparece en la Avenida Charles Darwin. En el escenario pesimista los resultados no son tan positivos, pero se consigue una reducción del 35,93%.

La zona 10 presenta los peores resultados de las tres zonas piloto respecto a sus valores de riesgo iniciales, con un 84,62% de reducción para el escenario positivo y un 38,46% para el

negativo. En ambos casos, la reducción de exposición de población tiene lugar sobre los residentes de forma permanente en la ciudad, ya que en la zona de *Pampas Coloradas-La Alborada* no hay apenas alojamientos turísticos.

Se estima que el área resultante tras la aplicación de las medidas, especialmente bajo el escenario pesimista, seguirá estando bastante extendida por la Avenida Baltra, por ello, la reducción de equipamientos expuestos es del 47,13% en el caso optimista y tan solo del 5,97% en el pesimista. Esta reducción se basa en que el Banco Nacional de Fomento y varios comercios y locales de hostelería dejarían de estar expuestos. Lo mismo ocurre con las vías principales, ya que la reducción de este indicador oscilaría únicamente entre 23,46% y 39,72%.

La zona 11 presenta una reducción del riesgo del 88,16% en el caso optimista, y 48,68% en el pesimista. La población expuesta se reduce en un 72,86% en el escenario optimista y un 38,57% en el pesimista, además se trata de una reducción de la población residente de forma permanente.

La reducción en equipamientos se basa en que, bajo los dos escenarios, el Centro Comercial Galápagos queda fuera del área amenazada, además de varios establecimientos de importancia menor, cuyo número varía entre los escenarios optimista (64,90% de reducción) y pesimista (39,94% de reducción). En cuanto a vías principales, en caso más favorable se puede eliminar hasta un 53,42% de la longitud de la superficie de encharcamiento sobre la Avenida Baltra, reduciéndose a 22,40% en el caso más desfavorable.

En los tres casos, la reducción de los resultados de los dos indicadores de amenaza está relacionada con la superficie de las zonas verdes, siendo mayor en los casos en los que los espacios verdes tengan una mayor área. Así, se consiguen mejores resultados sobre el factor de amenaza en la zona 11, donde el área verde es de 588,00 m<sup>2</sup>, seguido de la zona 27 (271,91 m<sup>2</sup>) y finalmente, la 10 (260,42 m<sup>2</sup>).

A la vista de los resultados, se puede concluir que la implementación de medidas de adaptación es altamente eficaz, ya que incluso en el escenario pesimista se prevé una reducción del riesgo incluso superior al 50% en uno de los casos. Además, el escenario optimista ofrece una reducción del riesgo de alrededor de 40 puntos porcentuales superior al pesimista.

Si estos resultados se trasladan al análisis por barrios, se puede ver que la reducción de riesgo es importante, tanto en escenario optimista como pesimista.

Tabla 140. Reducción del riesgo para los todos barrios piloto y escenarios  
Fuente: elaboración propia.

	Escenario optimista	Escenario pesimista
<b>Pampas Coloradas</b>	55,93%	27,12%
<b>La Alborada</b>	64,06%	28,13%
<b>Central</b>	53,41%	27,27%

Las medidas tienen un impacto muy favorable sobre todas las zonas, especialmente sobre *La Alborada*, donde se consigue un 64,06% bajo escenario optimista y 28,13% en pesimista, debido únicamente a la efectividad de las medidas sobre la zona 11. *Pampas Coloradas* y

*Central* presentan resultados muy similares entre sí, y ligeramente inferiores a *La Alborada*, con reducciones superiores al 50% para escenario optimista y del 27% para pesimista.

Cabe mencionar que también se ha conseguido una mejoría en *Pelican Bay*, donde las acciones llevadas a cabo en la zona 27 han reducido indirectamente el riesgo en este barrio. Bajo escenario optimista se reduce en un 47,06%, mientras que en pesimista disminuye aproximadamente un 23,53%.

A pesar de que los resultados son positivos bajo hipótesis pesimista, dos de los barrios mantienen su clasificación de riesgo inicial (*Pampas Coloradas* y *Central*), no obstante, todos ellos presentan riesgo MEDIO en situación optimista. Esto demuestra que las medidas de adaptación son eficaces y actúan como soluciones viables frente al alto riesgo de encharcamiento presente en el área de estudio.

## 10 Conclusiones finales

Dadas las características particulares identificadas en Puerto Ayora, las medidas propuestas han demostrado ser soluciones idóneas para fortalecer la resiliencia de la ciudad frente al cambio climático. La ejecución de pozos profundos de captación e infiltración de la escorrentía es una de las medidas valoradas positivamente por los técnicos del Municipio como alternativa a los sobrecostos de financiación de la red de pluviales que se ejecuta en la ciudad. La protección urbanística de las parcelas no construidas y de los espacios libres próximos a las zonas de encharcamiento deberá también ser contemplada en la planificación urbana, evitando la impermeabilización y edificación de estas parcelas. En ambos casos, la validez de las medidas propuestas ha quedado demostrada mediante la recopilación de casos de éxito internacional y estudios que avalan su utilidad en diferentes partes del mundo.

A lo largo de la última fase del estudio se ha demostrado la eficacia de estas medidas simulando su aplicación en las zonas piloto anteriormente definidas. El cálculo de la reducción de riesgos parte de varias hipótesis basadas en datos de proyectos similares, dado que no se conocen datos locales exactos sobre el dimensionamiento y capacidad de infiltración de los pozos profundos o la capacidad de retención de las zonas verdes. A partir de estos parámetros de referencia de casos previos, se ha determinado la variación del riesgo siguiendo la anterior metodología, basada en indicadores que definen los parámetros del riesgo. A fin de simplificar el análisis para realizar el cálculo, se han tenido en cuenta dos escenarios extremos: uno optimista y otro pesimista.

La hipótesis optimista sugiere que se puede alcanzar una reducción del 60% del volumen inicial de escorrentía por parte de los pozos, y un 30% de capacidad de retención del volumen de agua que discurre por los espacios verdes, dato planteado en base a las características del aguacero. Por el contrario, la hipótesis pesimista presenta una reducción del 20% del volumen de escorrentía gracias a los pozos y únicamente un 1,8% de capacidad de retención en las zonas verdes.

El cálculo ofrece resultados muy positivos, ya que para las tres zonas piloto estudiadas muestra una reducción del riesgo superior al 80% bajo la hipótesis optimista. El escenario pesimista también muestra resultados muy positivos, entre un 35% y 55% de reducción del riesgo inicial. Tras la realización de este análisis a escala de barrio, se detectan importantes variaciones en los niveles de riesgo en las zonas piloto. Mediante la aplicación de pozos profundos de infiltración y el desarrollo de nuevas zonas verdes, se estima que la reducción del riesgo en *La Alborada* será casi del 65% bajo escenario optimista, mientras que, en *Pampas Coloradas* y *Central*, aunque es ligeramente menor, asciende al 55%. La simulación pesimista también arroja resultados muy positivos, ya que la reducción es superior al 25% en los tres barrios piloto.

Desde el punto de vista metodológico, se puede afirmar que el empleo de un marco de indicadores de los factores del riesgo ha permitido determinar el índice de riesgo de una forma sencilla y robusta. Este mismo marco metodológico ha permitido además evaluar la eficacia de las medidas propuestas, cuantificando la potencial reducción del riesgo derivada del cambio de escenario que implica la ejecución de cada medida. En este sentido, tanto en el escenario optimista como en el más pesimista, se ha podido demostrar la eficacia de las medidas para modificar el índice de Riesgo, incluso en el escenario más negativo.

No obstante, debe tenerse en cuenta que las hipótesis realizadas actúan únicamente como una aproximación al resultado real, de manera que, en el futuro, deberían realizarse cálculos más exhaustivos de la zona. Entre ellos, sería interesante la realización de simulaciones en las que se tenga en cuenta la intensidad del aguacero, la capacidad de infiltración real del suelo o el volumen de escorrentía que discurre por las calles de Puerto Ayora. De esta forma, se podrían obtener resultados muy exactos de la eficacia de los sistemas de pozos profundos y espacios verdes como reductores de escorrentía, y calcular la reducción del riesgo de una forma más exacta, sin necesidad de recurrir a aproximaciones o escenarios de cálculo.

El trabajo muestra la importancia de la integración de las medidas de adaptación en el planeamiento urbano. La protección de los espacios libres próximos a zonas de encharcamiento y las medidas técnicas para dar solución a los problemas de inundaciones dentro del espacio libre existente se manifiestan como medidas de gran eficacia y deben ser tenidas en cuenta desde la planificación urbana. A partir de la información obtenida, el plan de usos del suelo del municipio podrá establecer las condiciones de protección frente a inundaciones con la definición de áreas de dominio público, asignando estrategias de protección integral de estas áreas y evitando la impermeabilización de estos sectores.

Las medidas propuestas a lo largo de este trabajo buscan la conversión de Puerto Ayora en una ciudad sostenible, aumentando la resiliencia y reduciendo el impacto de los riesgos asociados al clima. Dichas medidas pueden considerarse herramientas para la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11 y 13 ya que promueven una urbanización sostenible que permite la reducción del impacto de desastres, y la incorporación de políticas, planes y estrategias relativas al cambio climático en el planeamiento urbano.



## 11 Bibliografía

- Adelinet, M., Fortin, J., d'Ozouville, N., y Violette, S. (2008). The relationship between hydrodynamic properties and weathering of soils derived from volcanic rocks, Galapagos Islands (Ecuador). *Environmental geology*, 56(1), 45-58.
- Barton, J. R. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*, (43), 5-30.
- Benítez, F. L., Mena, C. F., y Zurita-Arthos, L. (2018). Urban land cover change in ecologically fragile environments: the case of the Galapagos Islands. *Land*, 7(1), 21.
- Bonilla, A., Durán, G., Bayón Jiménez, M., Santelices, C., y Villavicencio, J. (2020). *Puerto Ayora (Galápagos): Entre el turismo internacional y la expansión mediante redes clientelares*. Serie de Violencias y Contestaciones en la Producción del Espacio Urbano Periférico en Ecuador. FLACSO Ecuador, 34 pp.
- Cardona, O.D., van Aalst, M.K., Birkmann, J., Fordham, M., McGregor, G., Perez, R., ... y Sinh, B.T. (2012). Determinants of risk: exposure and vulnerability. En: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65-108.
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN) (2018). *Comprendiendo la vulnerabilidad, el riesgo, y los impactos para la resiliencia climática. Guía metodológica basada en la experiencia*. Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. Guayaquil, Ecuador, 124 pp.
- Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos (CGREG) (2012) *Plan de Movilidad Sustentable de Santa Cruz 2014-2024. Secretaría Técnica de Planificación y Desarrollo Sustentable (STPDS)*. CGREG, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador, 185 pp.
- Consejo de Gobierno de Régimen Especial de Galápagos (CGREG) (2016). *Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos*. CGREG, Puerto Baquerizo Moreno, Galápagos, Ecuador, 256 pp.
- Cubides, E., y Santos, G. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 32-42.
- Dirección del Parque Nacional Galápagos (PNG) (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir*. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador, 210 pp.

- Edwards, E., Wasburn, B., y Lock, B. (2017). *Dry wells for stormwater management: wells used to drain stormwater and recharge groundwater supplies*. American Geosciences Institute. Recuperado de: <https://www.americangeosciences.org/geoscience-currents/dry-wells-stormwater-management>
- Fundación para la Investigación del Clima (FIC) (2019). *Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático en la Isla de Santa Cruz de Galápagos (Provincia de Galápagos) en Ecuador*. Fundación para la Investigación del Clima, CAF-Banco de Desarrollo de América Latina, Ecuador, 485 pp.
- Ihobe (2019). *Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de los municipios vascos ante el cambio climático*. Bilbao: Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Gobierno Vasco, 46 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2015). *Análisis de Resultados definitivos. Censo de Población y vivienda*. INEC, Quito. Recuperado de: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion\\_y\\_Demografia/CPV\\_Galapagos\\_2015/Analisis\\_Galapagos%202015.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/CPV_Galapagos_2015/Analisis_Galapagos%202015.pdf)
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz (GADMSC) (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón de Santa Cruz (2012-2020)*. GADMSC, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador, 462 pp.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz (GADMSC) (2019). *Informe de los 30 primeros días de gestión de la Administración de 2019-2023*. GADMSC, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador, 12 pp.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santa Cruz (GADMSC) (2020). *Agenda de reducción de riesgos del Cantón Santa Cruz (terremoto y tsunami)*. GADMSC, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador, 51 pp.
- Guevara Ruiz, C. (2010). *La construcción de una sociedad sustentable. Investigación histórica y evolutiva de la tipología vivienda en Puerto Ayora, Galápagos* (Trabajo Fin de Grado. Universidad de Cuenca, Ecuador). Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/550>
- Kusumastuti, D. I., Jokowinarno, D., Khotimah, S. N., y Dewi, C. (2017). The Use of Infiltration Wells to Reduce the Impacts of Land Use Changes on Flood Peaks: An Indonesian Catchment Case Study. *Pertanika Journal of Social Sciences and Humanities*, 25(2), 407-425.
- Liu, J., y d'Ozouville, N. (2013). Contaminación del agua en Puerto Ayora: Investigación interdisciplinaria aplicada utilizando *Escherichia coli* como una bacteria-indicador. Pp. 76-83. En: *Informe Galápagos 2011-2012*. DPNG, GCREG, FCD y GC. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.

- Markovic, G., Zele, M., Káposztásová, D., y Hudáková, G. (2014). Rainwater infiltration in the urban areas. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 181, 313-320.
- Ministerio del Ambiente (2015). Ecuador cuenta con Normativa sobre Cambio Climático. Quito, Ecuador. Recuperado de: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-cuenta-con-normativa-sobre-cambio-climatico/>
- Ministerio para la Transición Ecológica (2019). *Guías de adaptación al riesgo de inundación: sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/planes-gestion-riesgos-inundacion/Adaptacion-al-riesgo-de-inundacion.aspx>
- Miquilena, T., Corrales, W., Orrego, J. C., y Rojas, B. (2014). *Plan Indicativo para el Fortalecimiento Institucional de la Gestión de Riesgos y la Adaptación al Cambio Climático en el Sector de Infraestructura Vial - PIFIN*. Serie GeóPOLIS; Bogotá: CAF, 48 pp.
- Momparler, S. P., y Andrés-Doménech, I. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia". *Revista Técnica de Medio Ambiente. C&M Publicaciones*, 124, 92-104.
- Naciones Unidas (2015). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Nueva York, Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Naciones Unidas (2016). Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres. Asamblea General. Septuagésimo primer periodo de sesiones. *Desarrollo sostenible: reducción del riesgo de desastre*. Nueva York, Estados Unidos. Recuperado de: [https://www.preventionweb.net/files/50683\\_oiewgreports spanish.pdf](https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreports spanish.pdf)
- Naciones Unidas (2019). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Nueva York, Estados Unidos. Recuperado de: [https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiCkZuUkMPsAhVRExoKHSV6BooQFjACegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Funsstats.un.org%2Fsdgs%2Freport%2F2019%2FThe-Sustainable-Development-Goals-Report-2019\\_Spanish.pdf&usg=AOvVaw3tm9B9yfWpEM4LtZRtULgY](https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiCkZuUkMPsAhVRExoKHSV6BooQFjACegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Funsstats.un.org%2Fsdgs%2Freport%2F2019%2FThe-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf&usg=AOvVaw3tm9B9yfWpEM4LtZRtULgY)
- Nelson, C., Washburn, B., y Lock, B. (2017). *Separating fact from fiction: assessing the use of dry wells as an integrated low impact development (lid) tool for reducing stormwater runoff while protecting groundwater quality in urban watersheds city of Elk Grove, California*. City of Elk Grove, Estados Unidos, 99 pp.

Observatorio de Turismo de Galápagos (2019). *Estadísticas de Turismo de Galápagos de 2018*. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador, 45 pp.

Oppenheimer, M., M. Campos, R. Warren, J. Birkmann, G. Luber, B. O'Neill, y K. Takahashi, (2014). Emergent risks and key vulnerabilities. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1039-1099.

Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 pp.

Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, 765 pp.

Pappalardo, V., La Rosa, D., Campisano, A., y La Greca, P. (2017). The potential of green infrastructure application in urban runoff control for land use planning: A preliminary evaluation from a southern Italy case study. *Ecosystem services*, 26, 345-354.

Polanco Cornejo, A. F. (2015). *Análisis de factibilidad técnica y económica para disposición de pozo de infiltración vertical en sector plaza Puente Alto, Región Metropolitana, Chile* (Tesis Doctoral. Universidad Andrés Bello, Chile). Recuperado de: <http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/3333>

Pryet, A. (2011). *Hydrogeology of volcanic islands: a case-study in the Galapagos Archipelago (Ecuador)* (Tesis Doctoral. Universidad Pierre y Marie Curie, Francia). Recuperado de: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00747313v1>

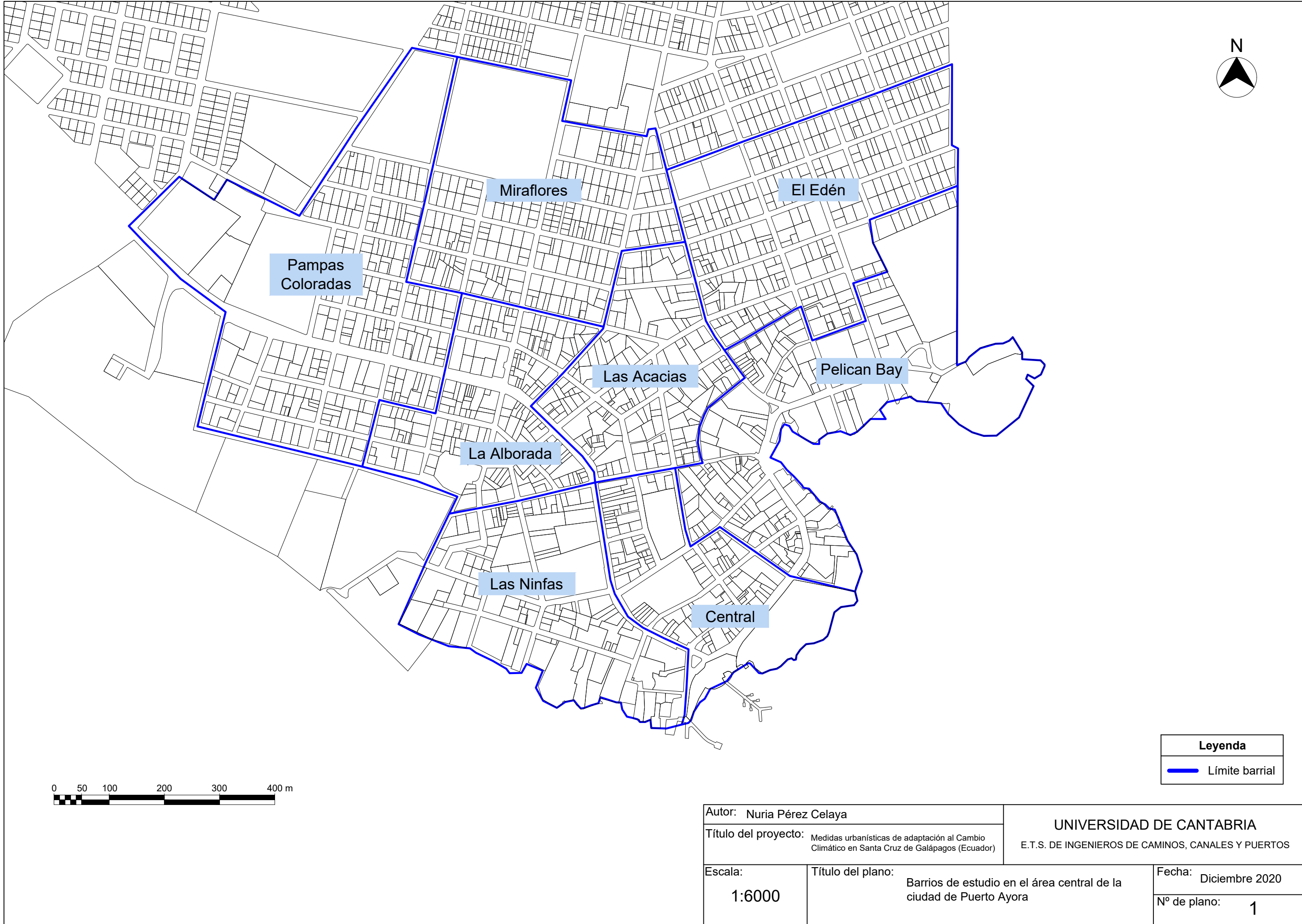
Sharma, J., y Ravindranath, N. H. (2019). Applying IPCC 2014 framework for hazard-specific vulnerability assessment under climate change. *Environmental Research Communications*, 1(5), 051004.

Song, P., Guo, J., Xu, E., Mayer, A. L., Liu, C., Huang, J., ... Kim, G. (2020). Hydrological effects of urban green space on stormwater runoff reduction in Luohe, China. *Sustainability*, 12(16), 6599.

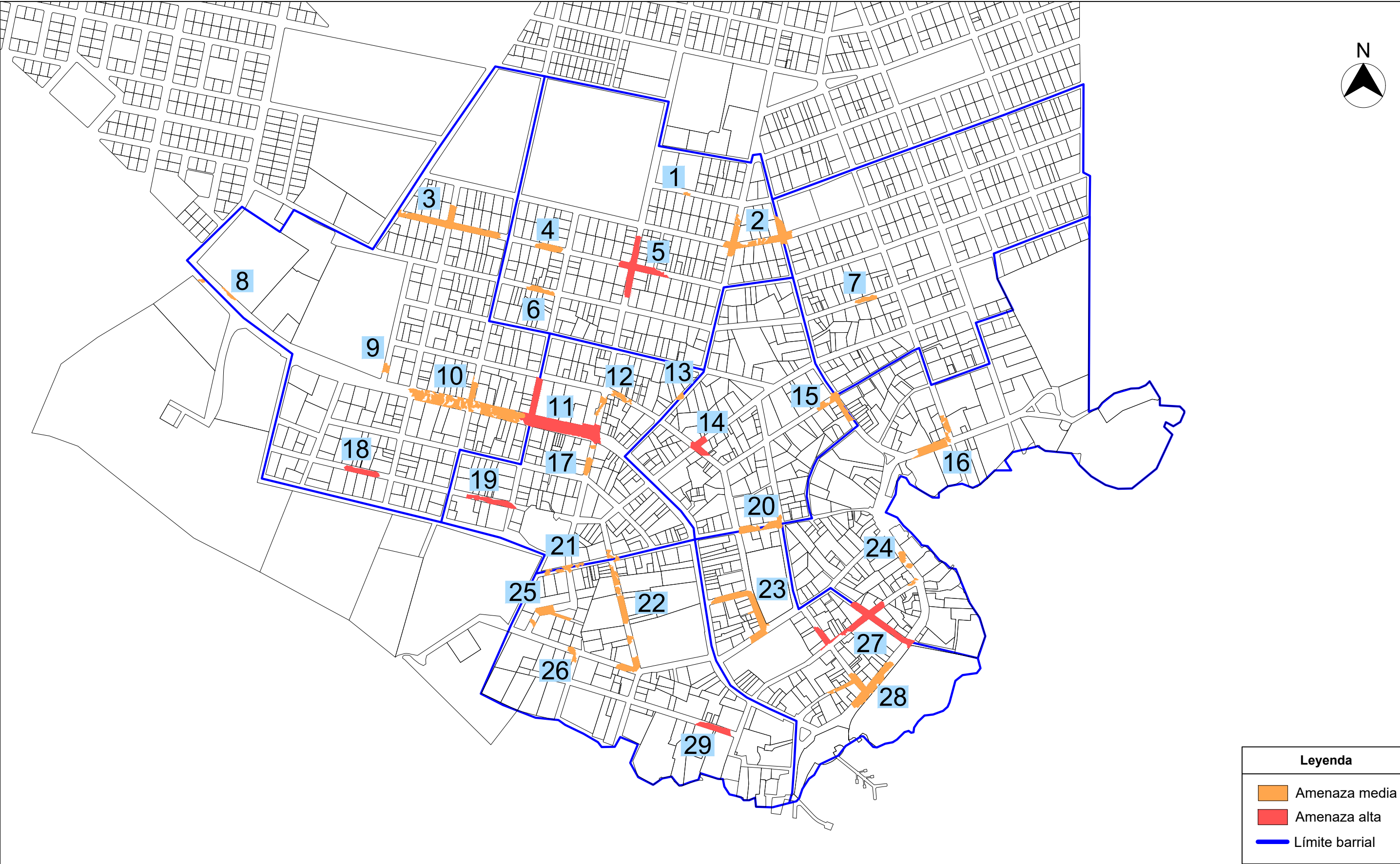
- Soto-Fernández, R. (s.f.). *SUDS en Barcelona*. Recuperado de: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjs7YClgJvtAhXYMMAKHVNSDwiQFjABegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Fxaenxarxa.diba.cat%2Fsites%2Fxaenxarxa.diba.cat%2Ffiles%2F05\\_suds\\_bcn\\_25-11-2016\\_diputacion.pdf&usg=AOvVaw1EdpEsvn9Bp1bpOPIM43-w](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjs7YClgJvtAhXYMMAKHVNSDwiQFjABegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Fxaenxarxa.diba.cat%2Fsites%2Fxaenxarxa.diba.cat%2Ffiles%2F05_suds_bcn_25-11-2016_diputacion.pdf&usg=AOvVaw1EdpEsvn9Bp1bpOPIM43-w)
- Soto-Fernández, R., y Perales-Momparler, S. (2017). El camino del agua en el paisaje urbano, barrio de Bon Pastor, Barcelona. In *Línea Temática M. Magazine from the V Water Engineering Conference, A Coruña, Spain* (pp. 25-26).
- Stoops, G. (2014). Soils and paleosoils of the Galápagos Islands: what we know and what we don't know, a meta-analysis. *Pacific Science*, 68(1), 1-17.
- Sturiale, L., y Scuderi, A. (2019). The role of green infrastructures in urban planning for climate change adaptation. *Climate*, 7(10), 119.
- Trueman, N., y d'Ozouville, N. (2010). *Characterizing the Galapagos terrestrial climate in the face of global climate change*. Galapagos Research. Fundación Charles Darwin, 67, 26-37.
- Visor Cartográfico de Ecuador – SIGTIERRAS (2020). Recuperado de: <http://geportal.sigtierras.gob.ec:8080/GeoserverViewer/>
- WWF y Conservation International (2011). *Climate Change Vulnerability Assessment of the Galapagos Islands*. Eds. I. Larrea and G. Di Carlo. WWF y CI, Quito, Ecuador, 116 pp.
- Yao, L., Chen, L., Wei, W., y Sun, R. (2015). Potential reduction in urban runoff by green spaces in Beijing: A scenario analysis. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(2), 300-308.
- Yoo, C., Ku, J. M., Jun, C., y Zhu, J. H. (2016). Simulation of infiltration facilities using the SEEP/W model and quantification of flood runoff reduction effect by the decrease in CN. *Water Science and Technology*, 74(1), 118-129.
- Zhang, B., Xie, G., Zhang, C., y Zhang, J. (2012). The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: a case study in Beijing, China. *Journal of environmental management*, 100, 65-71.

## Anexo: planos





Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)		
Escala: 1:6000	Título del plano: Barrios de estudio en el área central de la ciudad de Puerto Ayora	Fecha: Diciembre 2020 Nº de plano: 1



**Leyenda**

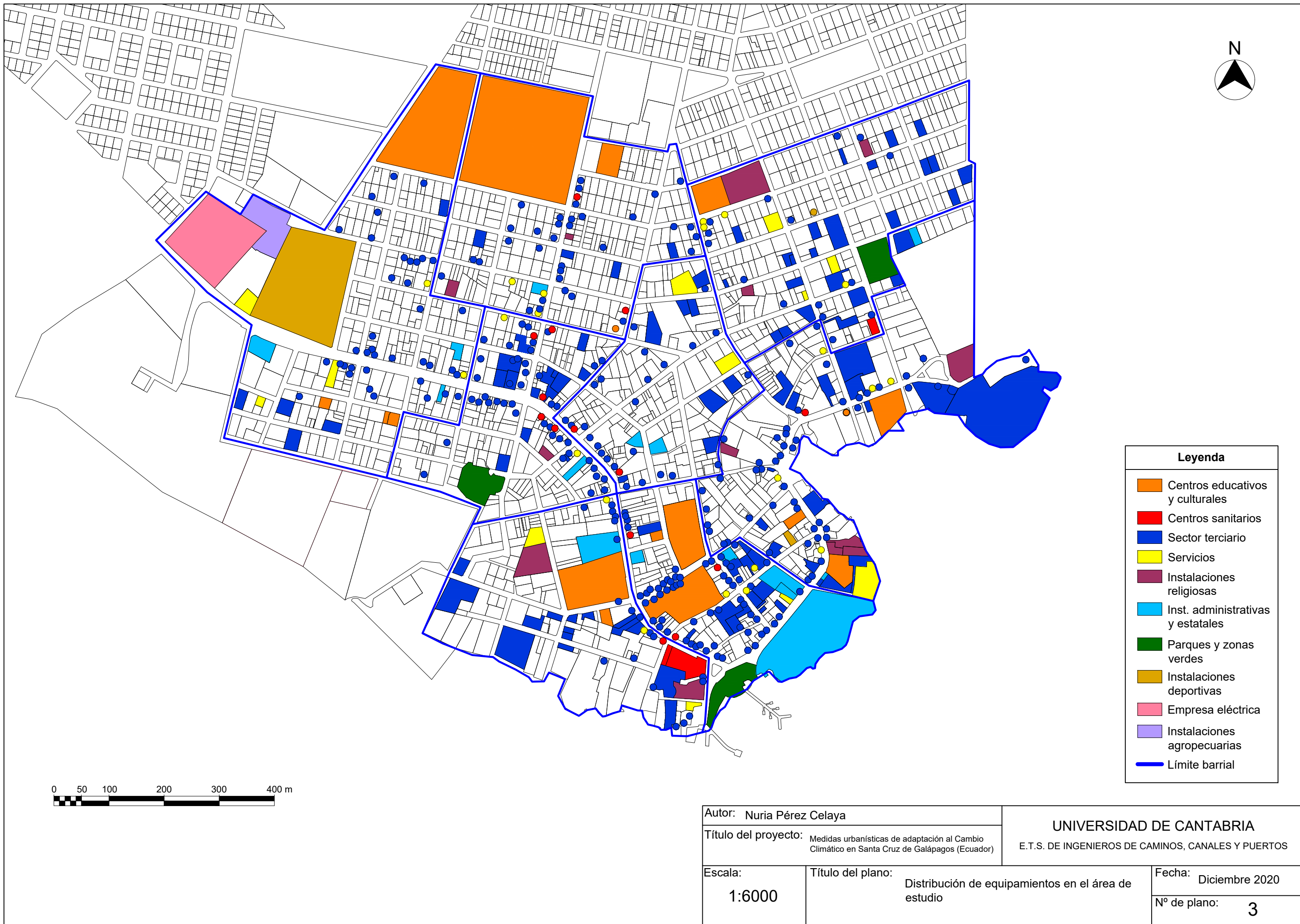
Amenaza media

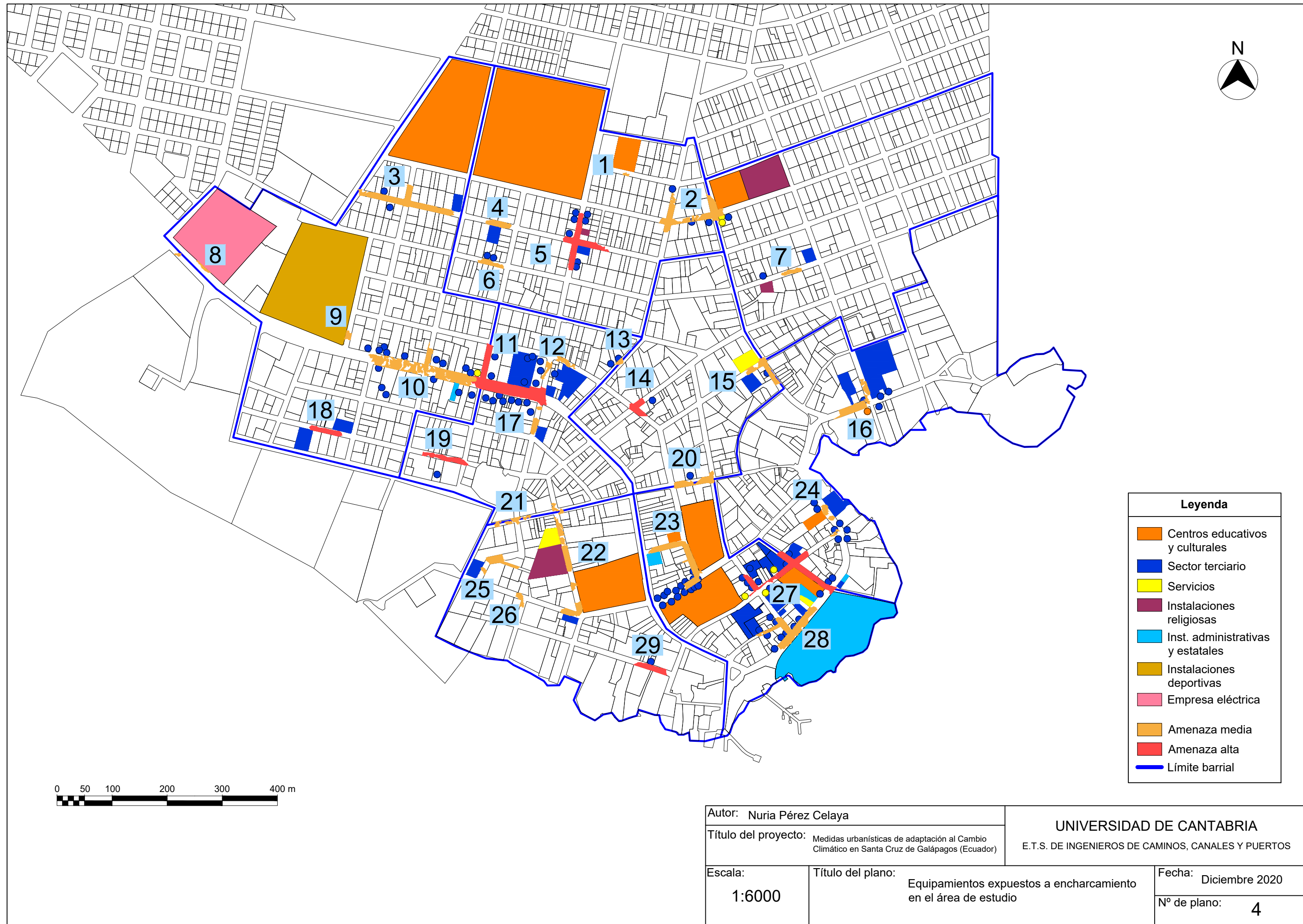
Amenaza alta

Límite barrial

Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)			
Escala:  1:6000	Título del plano:  Zonas inundables de Puerto Ayora		Fecha: Diciembre 2020
			Nº de plano: 2

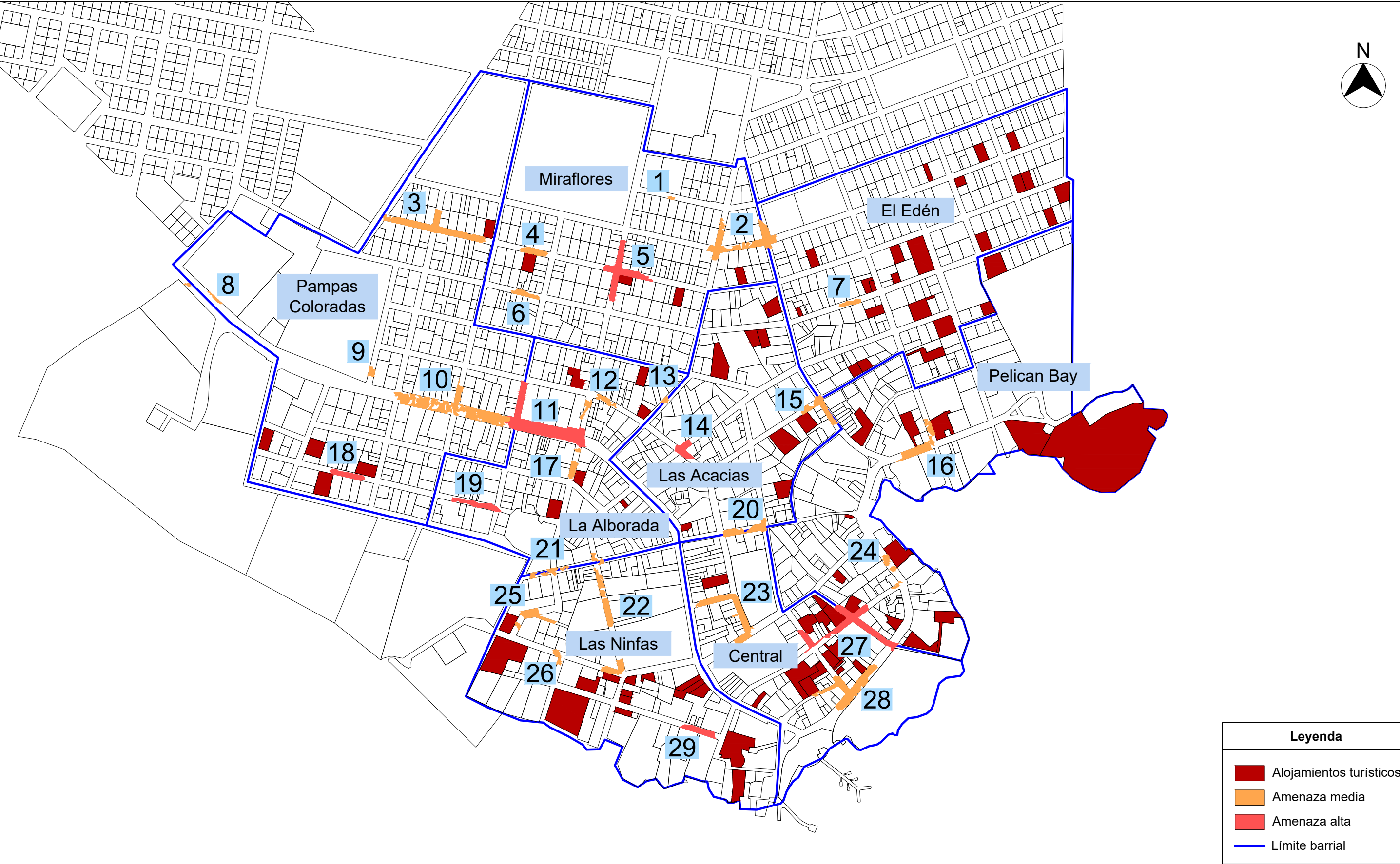






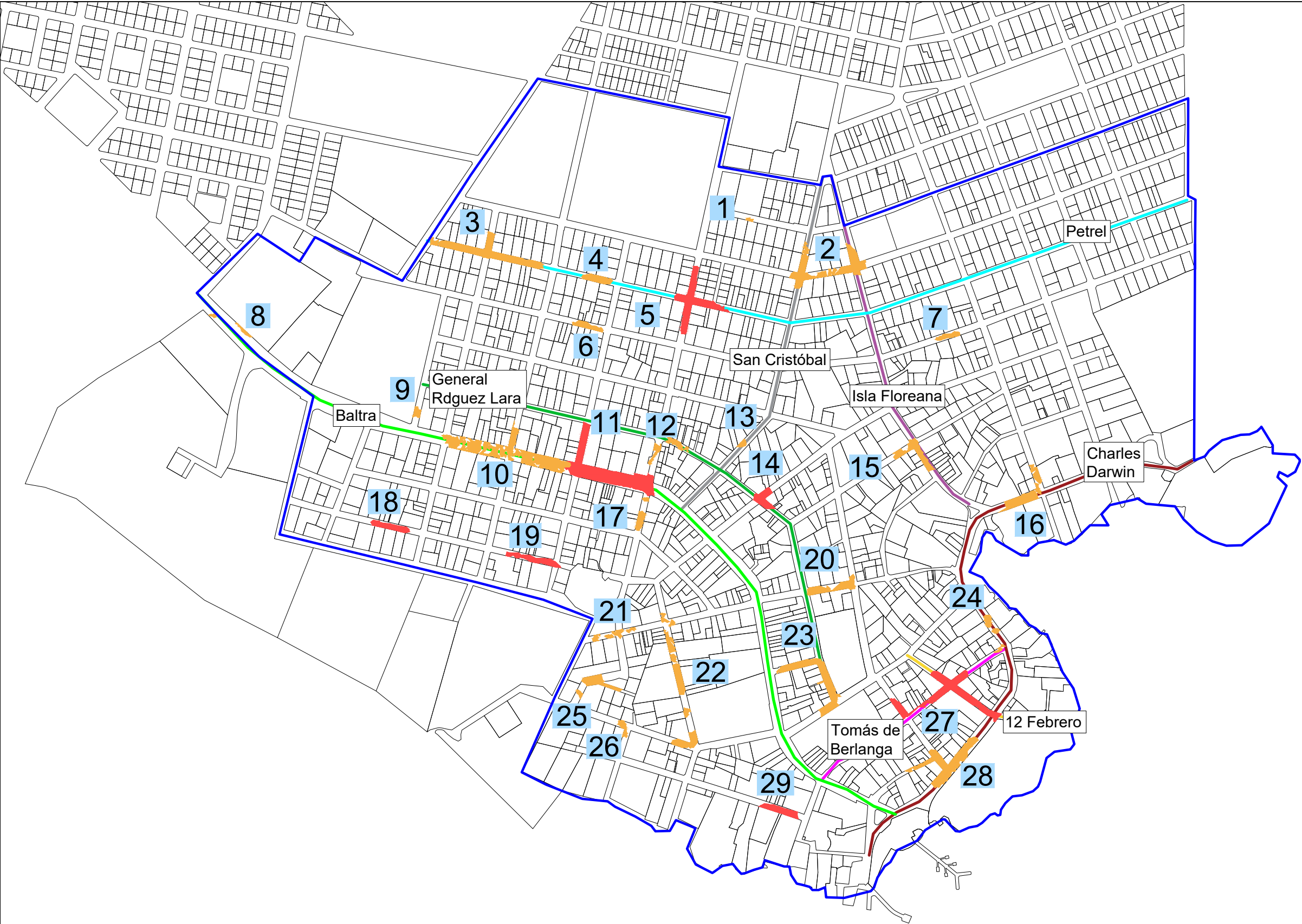
Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)			
Escala:  1:6000	Título del plano:  Equipamientos expuestos a encharcamiento en el área de estudio		Fecha: Diciembre 2020
			Nº de plano: 4







Leyenda	
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:red; border:1px solid black;"></span>	Alojamientos turísticos
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:orange; border:1px solid black;"></span>	Amenaza media
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:red; border:1px solid black;"></span>	Amenaza alta
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid blue;"></span>	Límite barrial

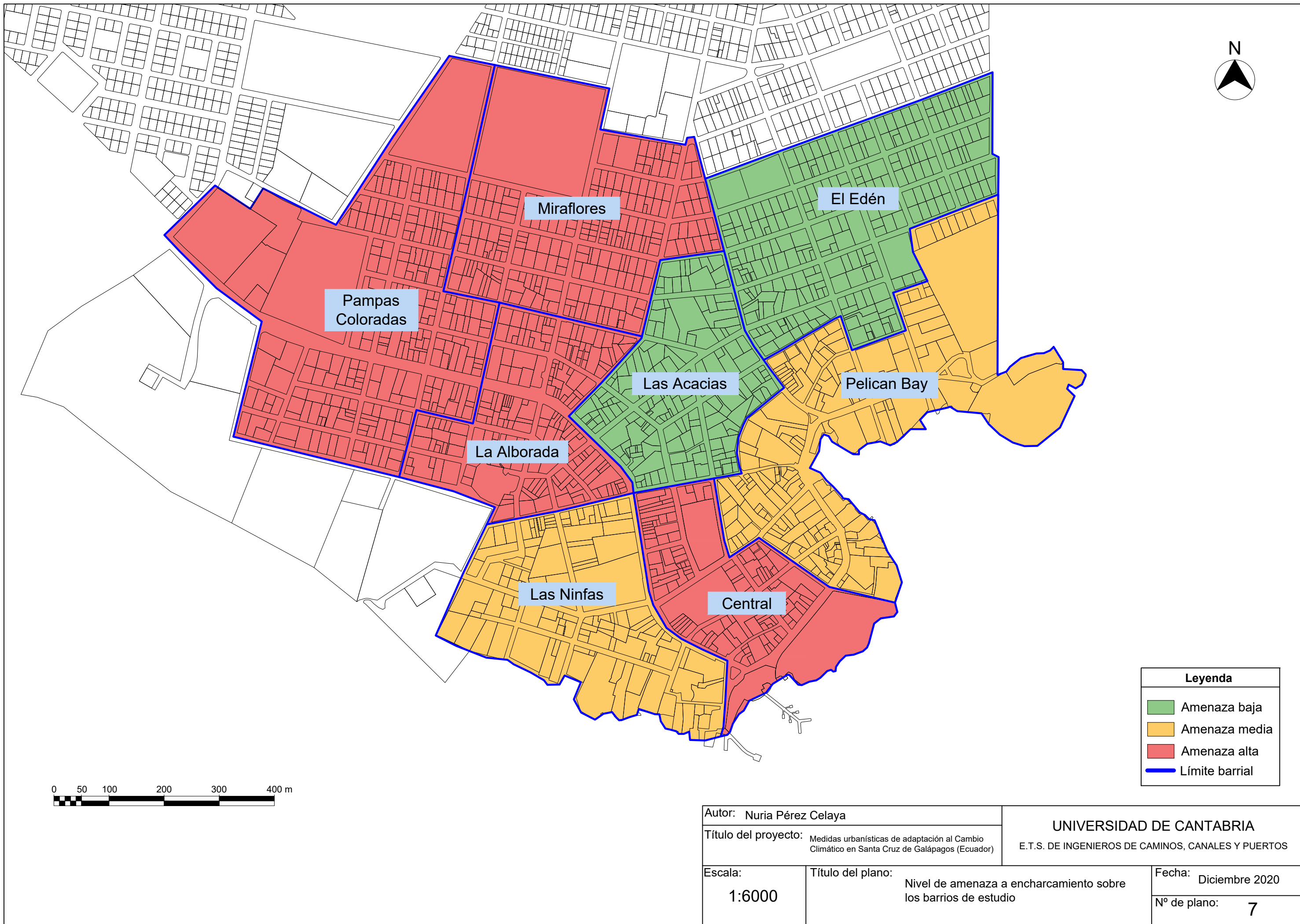
Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)		
Escala:  1:6000	Título del plano:  Distribución de alojamientos turísticos en el área de estudio	Fecha: Diciembre 2020  Nº de plano: 5



Leyenda	
	Amenaza media
	Amenaza alta
	Límite área de estudio

Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)		
Escala: 1:6000	Título del plano: Viario principal expuesto a encharcamiento en el área de estudio	Fecha: Diciembre 2020
		Nº de plano: 6

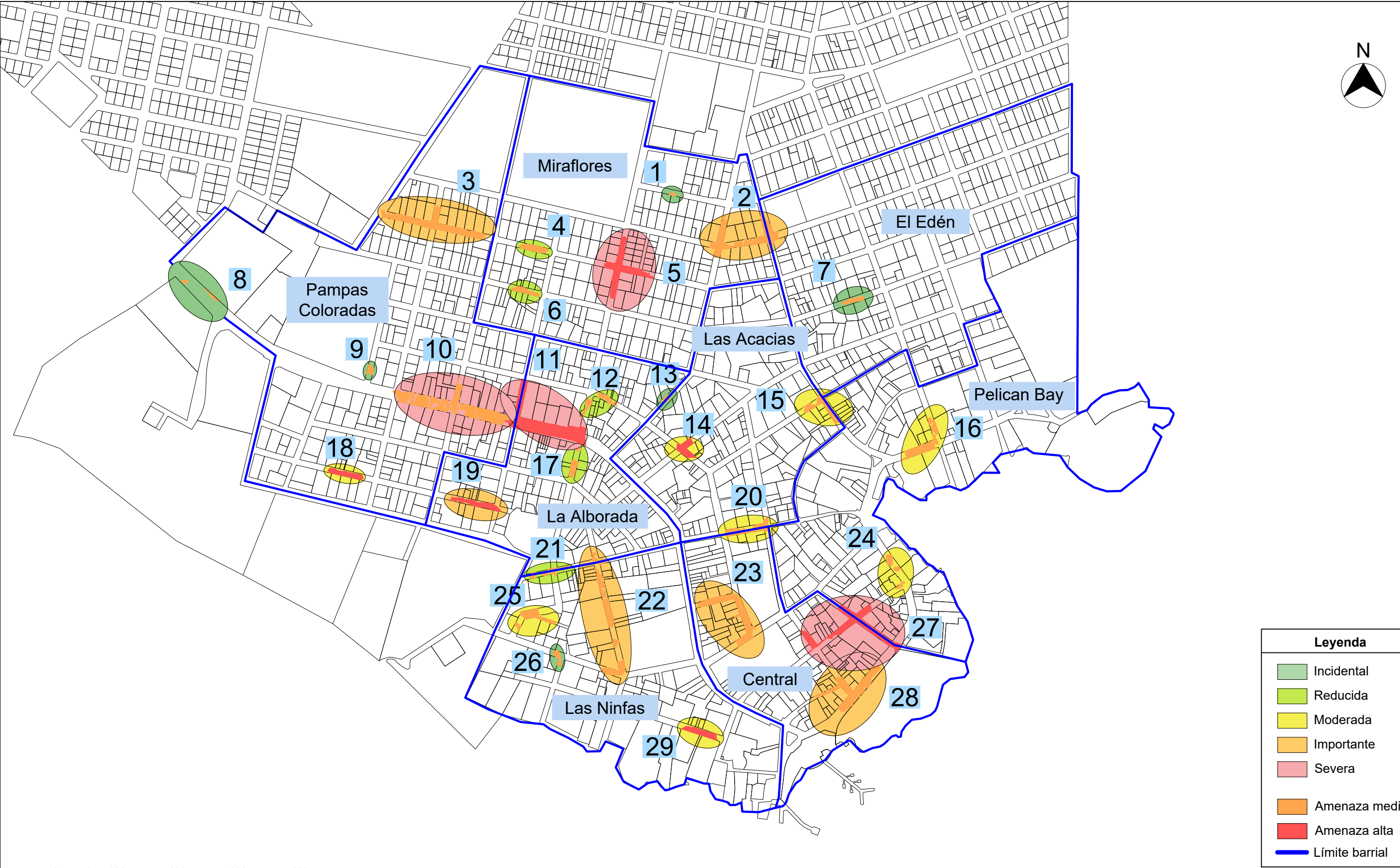




**Leyenda**

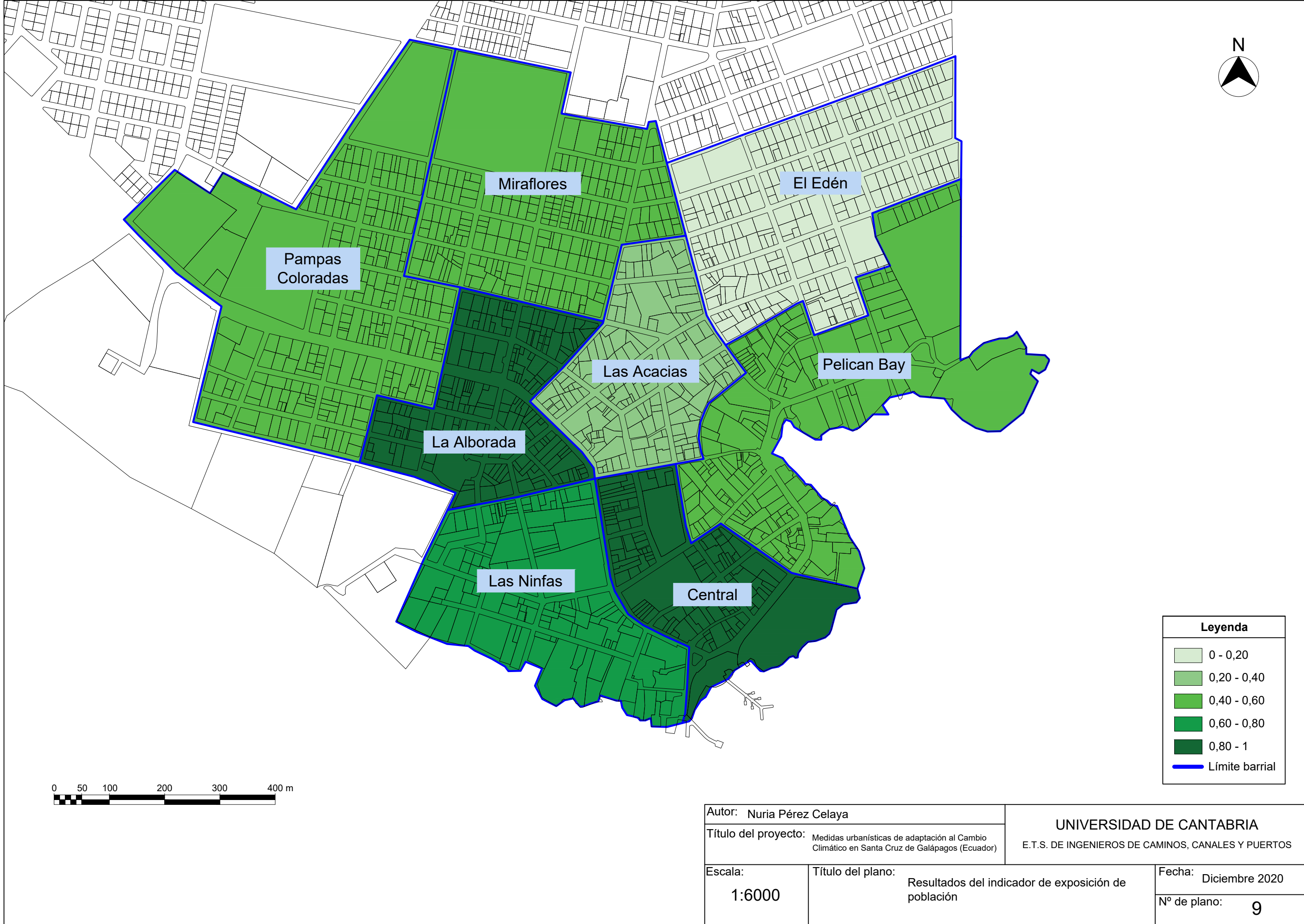
- Amenaza baja
- Amenaza media
- Amenaza alta
- Límite barrial

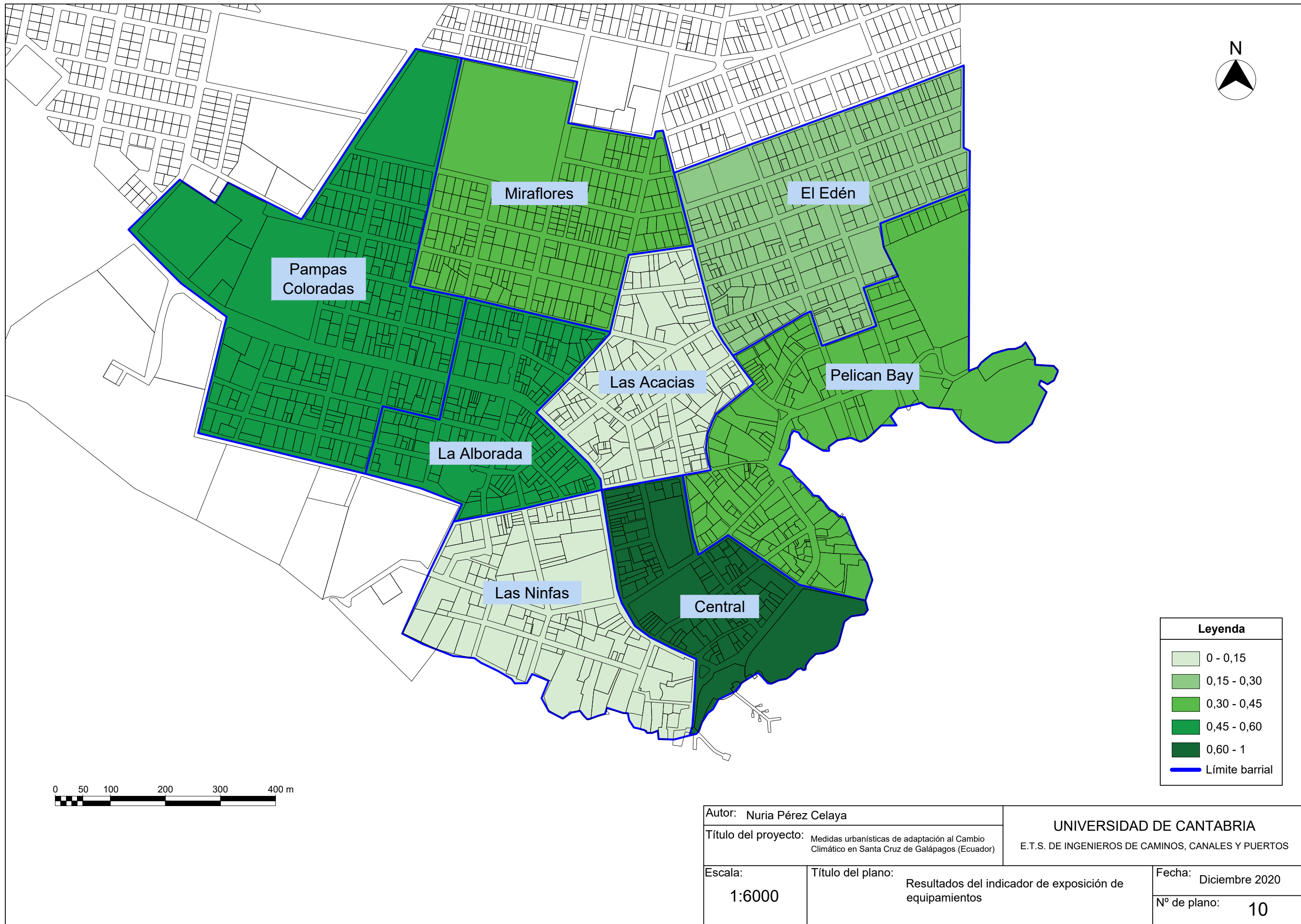
Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)			
Escala:  1:6000	Título del plano:  Nivel de amenaza a encharcamiento sobre los barrios de estudio		Fecha: Diciembre 2020  Nº de plano: 7



Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)		
Escala: 1:6000	Título del plano: Nivel de amenaza asociada a las zonas de encharcamiento	Fecha: Diciembre 2020 Nº de plano: 8

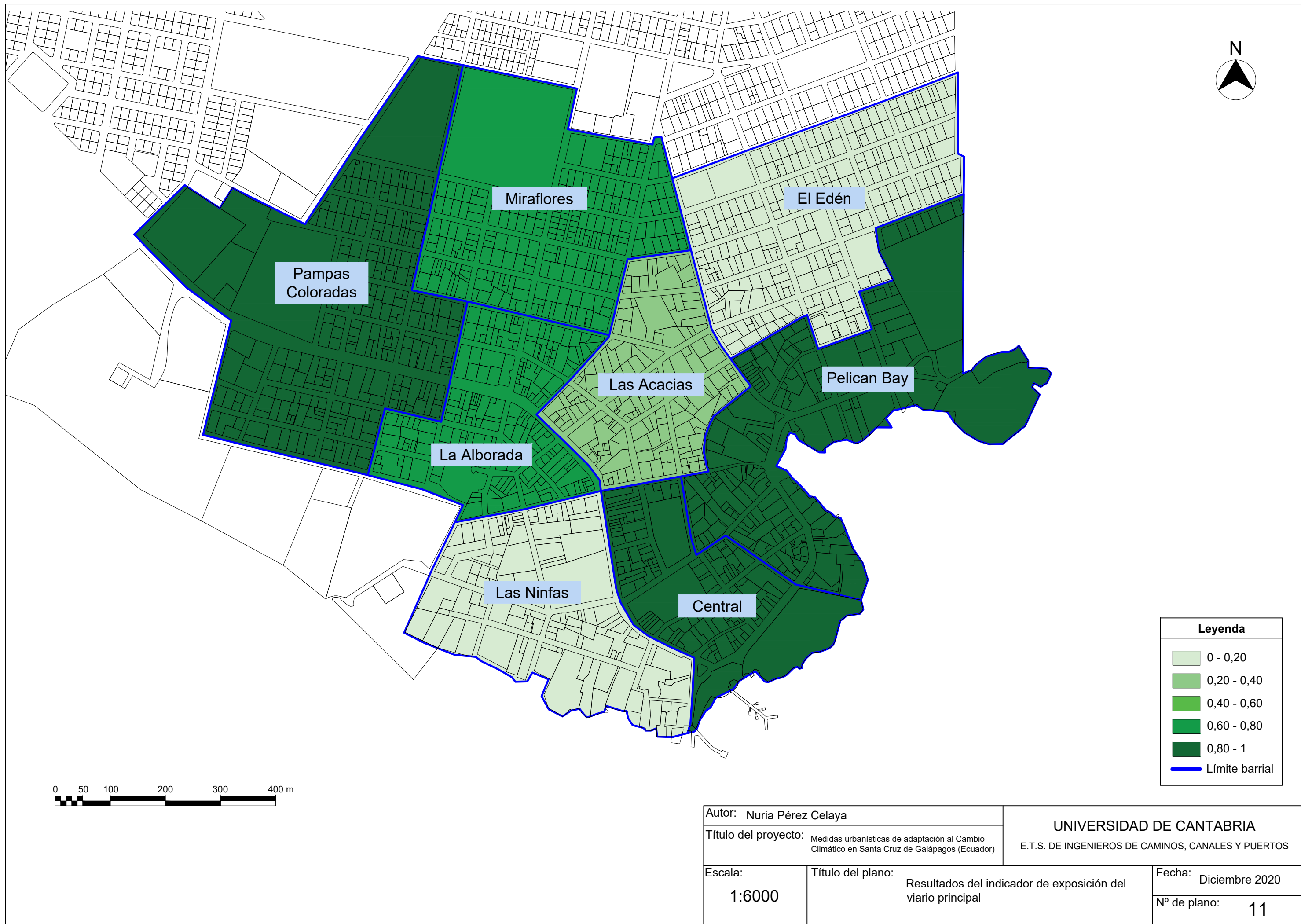




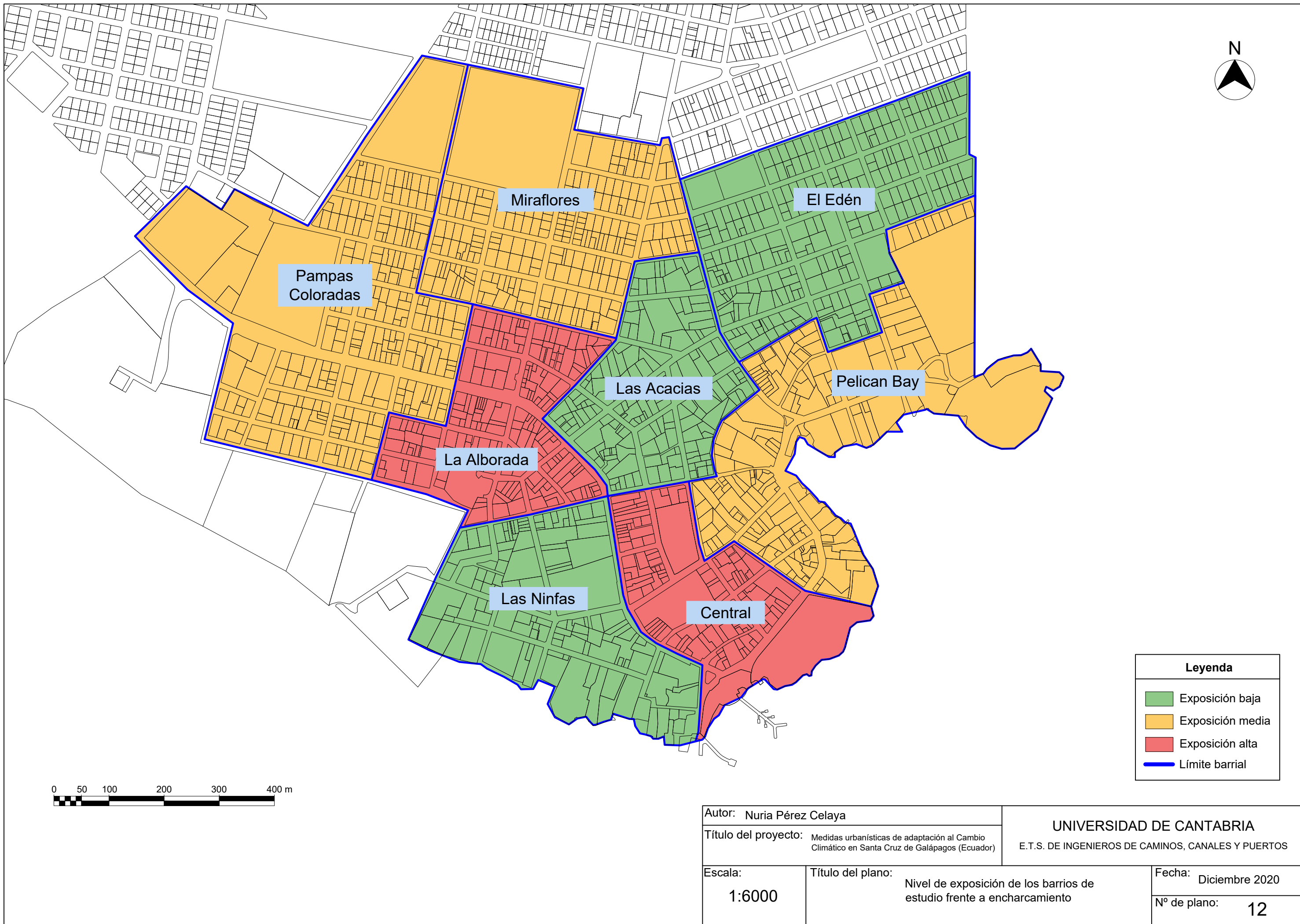


Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)			
Escala: 1:6000	Título del plano: Resultados del indicador de exposición de equipamientos	Fecha: Diciembre 2020	Nº de plano: 10





Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)		
Escala: 1:6000	Título del plano: Resultados del indicador de exposición del viario principal	Fecha: Diciembre 2020
		Nº de plano: 11

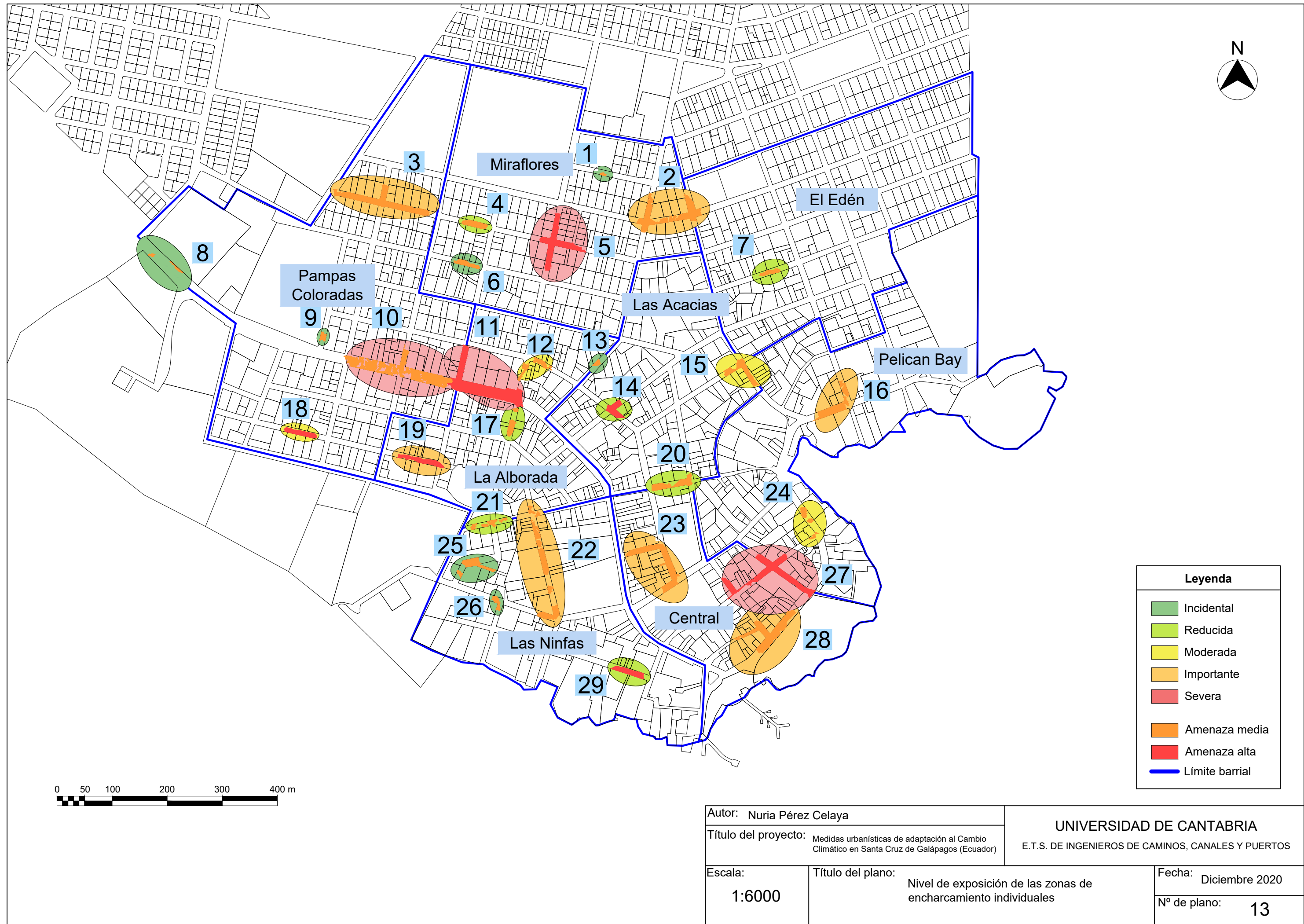


**Leyenda**

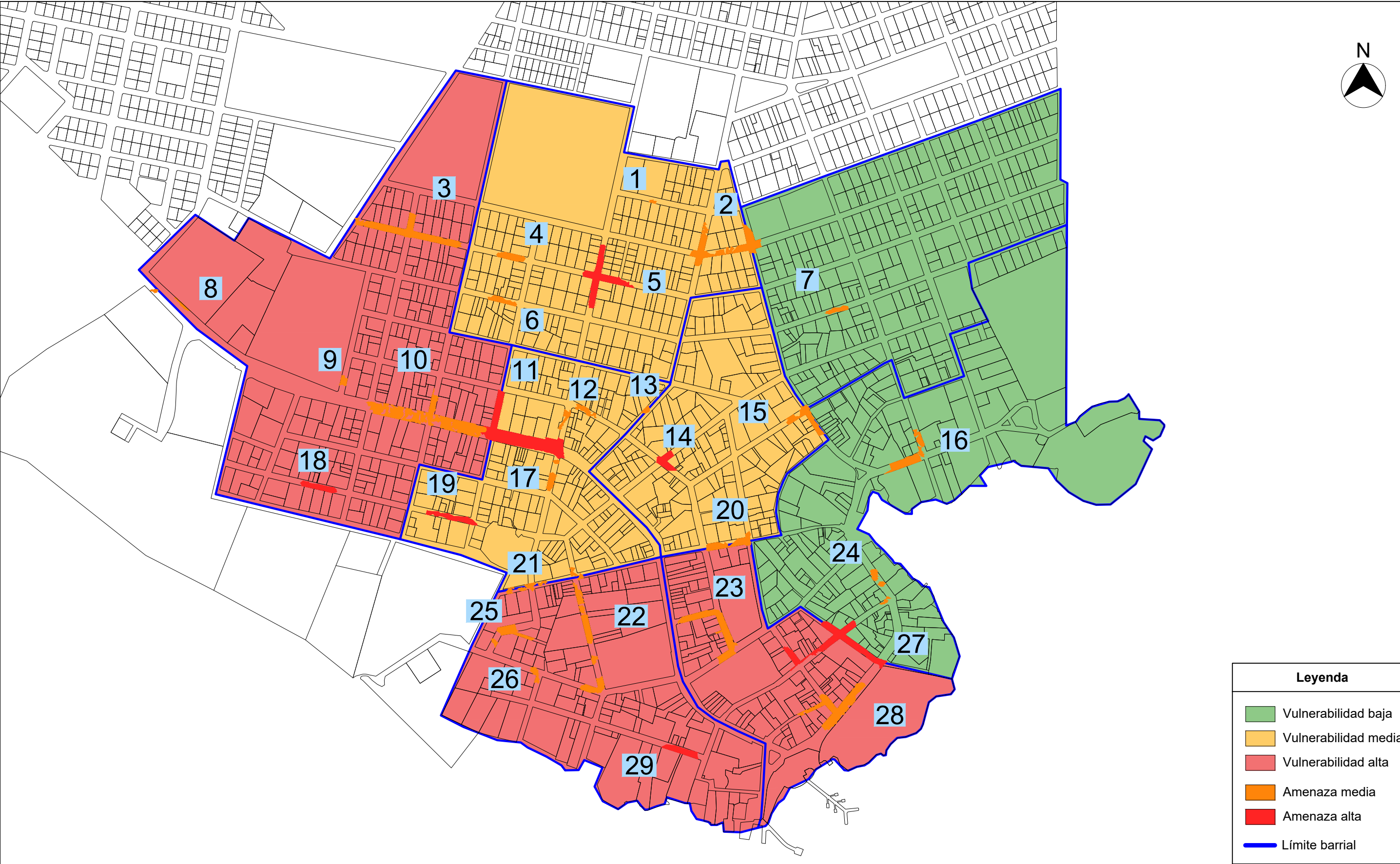
- Exposición baja
- Exposición media
- Exposición alta
- Límite barrial

Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)			
Escala: 1:6000	Título del plano: Nivel de exposición de los barrios de estudio frente a encharcamiento		Fecha: Diciembre 2020
			Nº de plano: 12





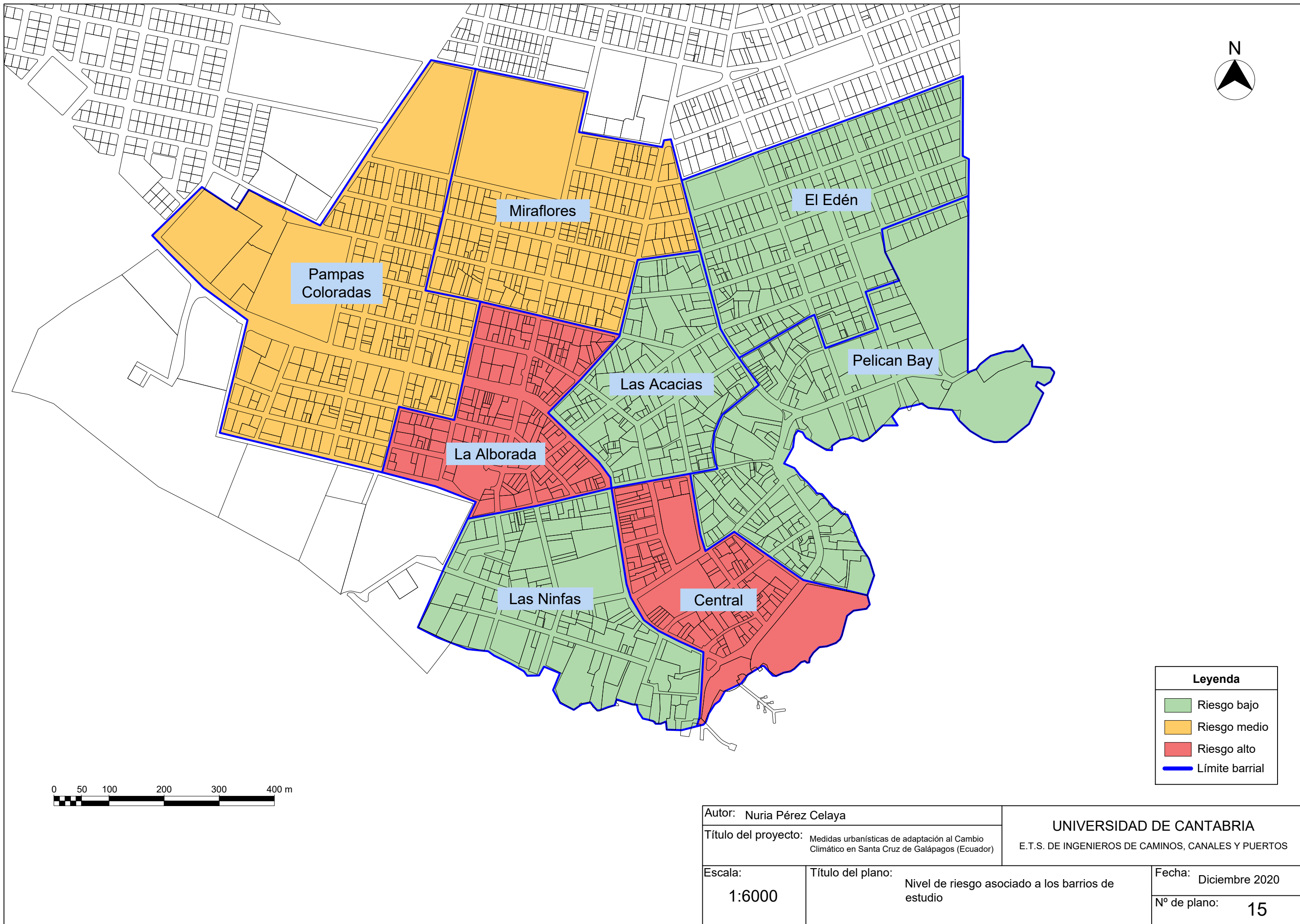
Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)			
Escala: 1:6000	Título del plano: Nivel de exposición de las zonas de encharcamiento individuales		Fecha: Diciembre 2020 Nº de plano: 13



0 50 100 200 300 400 m

Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)			
Escala:  1:6000	Título del plano:  Nivel de vulnerabilidad de las zonas de encharcamiento individuales.		Fecha: Diciembre 2020
			Nº de plano:  14



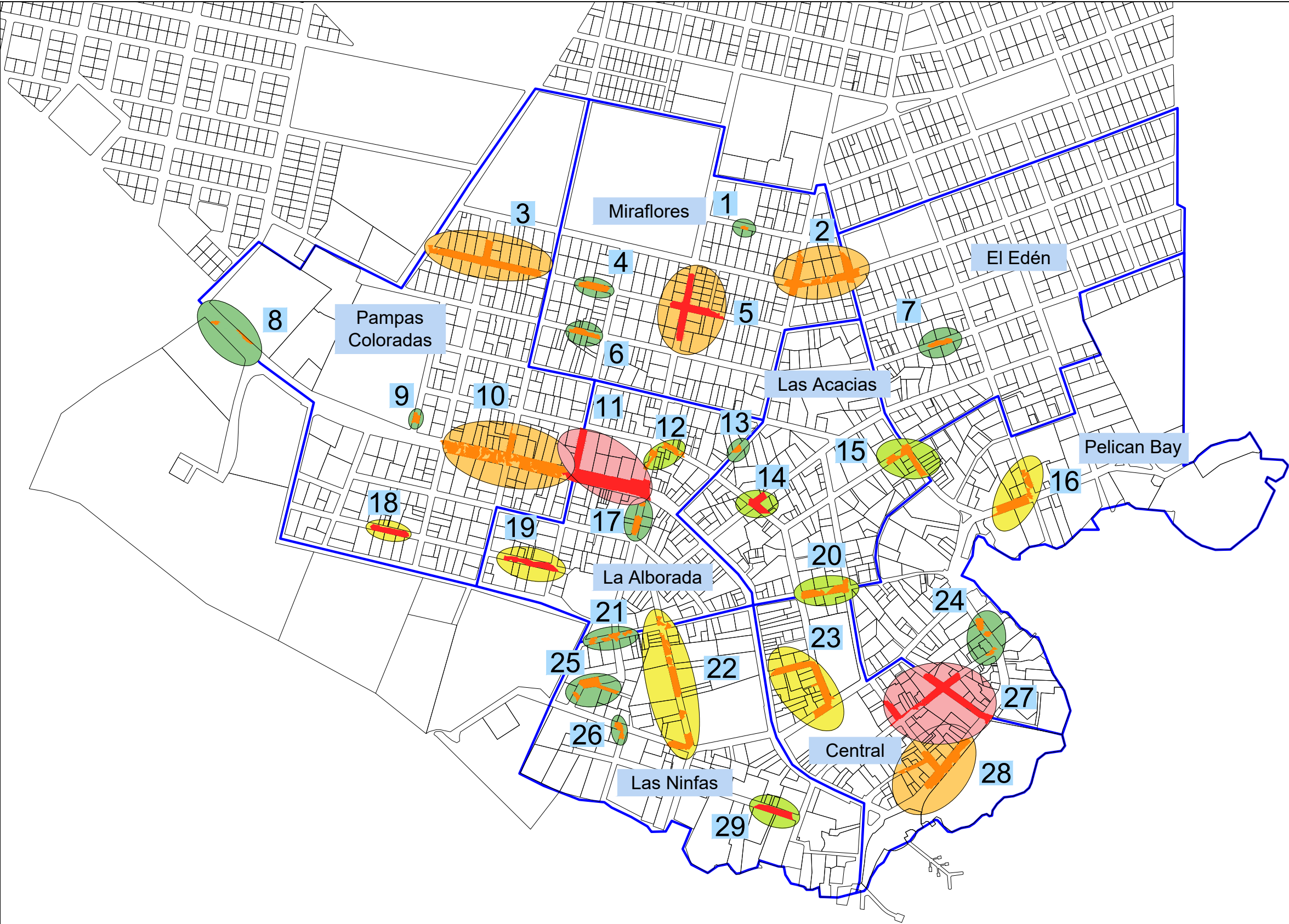


0 50 100 200 300 400 m

**Leyenda**

- Riesgo bajo
- Riesgo medio
- Riesgo alto
- Límite barrial

Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)		
Escala: 1:6000	Título del plano: Nivel de riesgo asociado a los barrios de estudio	Fecha: Diciembre 2020 Nº de plano: 15



**Leyenda**

Incidental

Reducida

Moderada

Importante

Severa

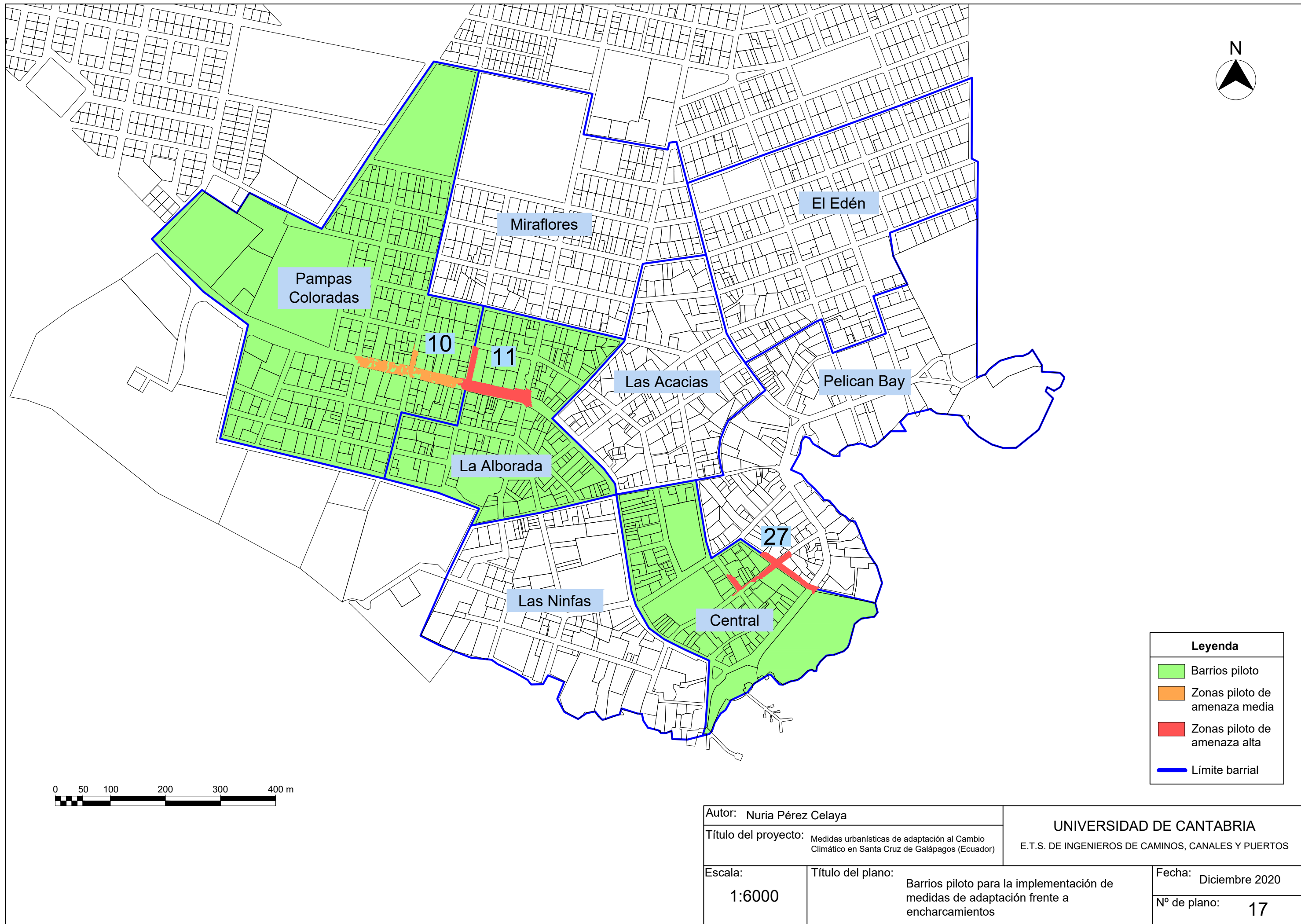
Amenaza media

Amenaza alta

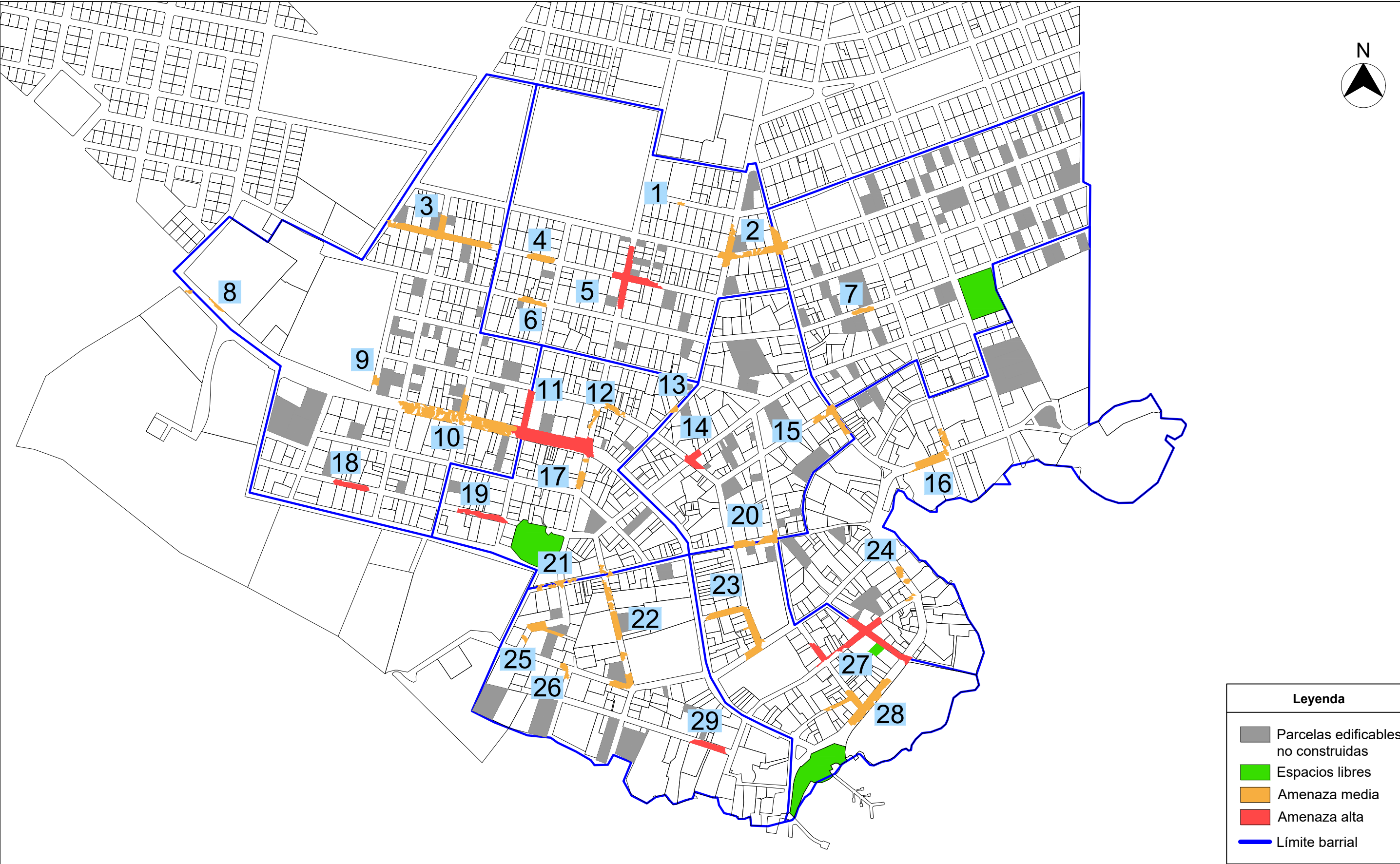
Límite barrial

Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)			
Escala:  1:6000	Título del plano:  Nivel de riesgo de las zonas de encharcamiento individuales		Fecha: Diciembre 2020
			Nº de plano: 16





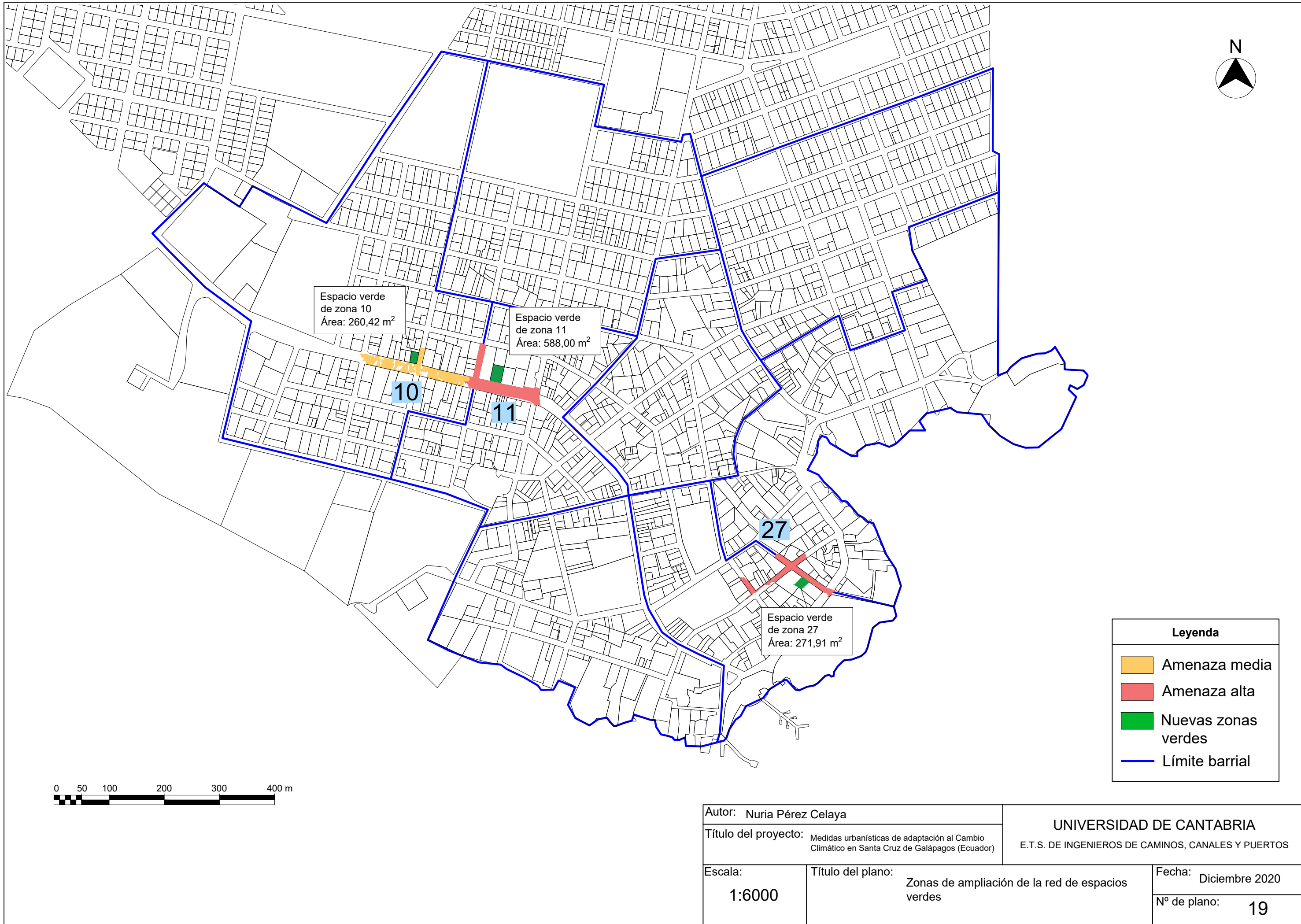
Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)		
Escala:  1:6000	Título del plano:  Barrios piloto para la implementación de medidas de adaptación frente a encharcamientos	Fecha: Diciembre 2020  Nº de plano: 17







Legenda	
	Parcelas edificables no construidas
	Espacios libres
	Amenaza media
	Amenaza alta
	Límite barrial

Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)			
Escala: 1:6000	Título del plano: Parcelas vacías y espacios libres en el área de estudio		Fecha: Diciembre 2020
			Nº de plano: 18

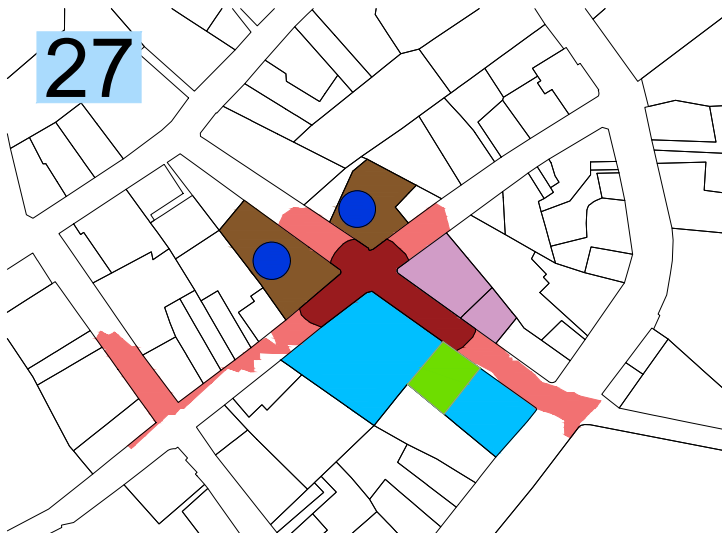
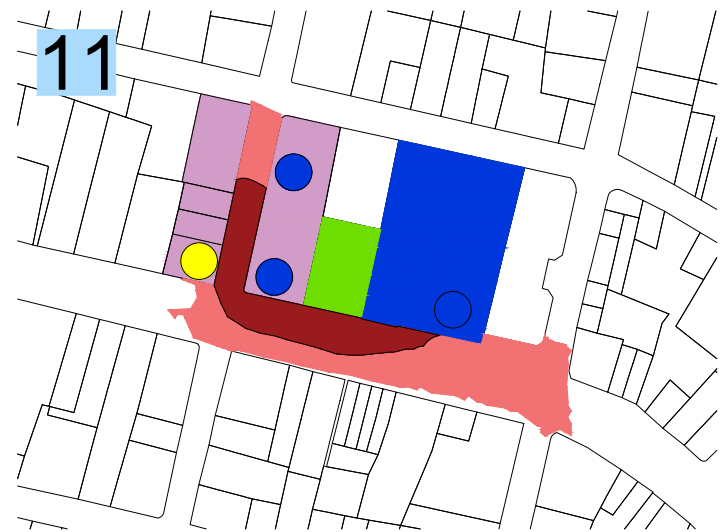




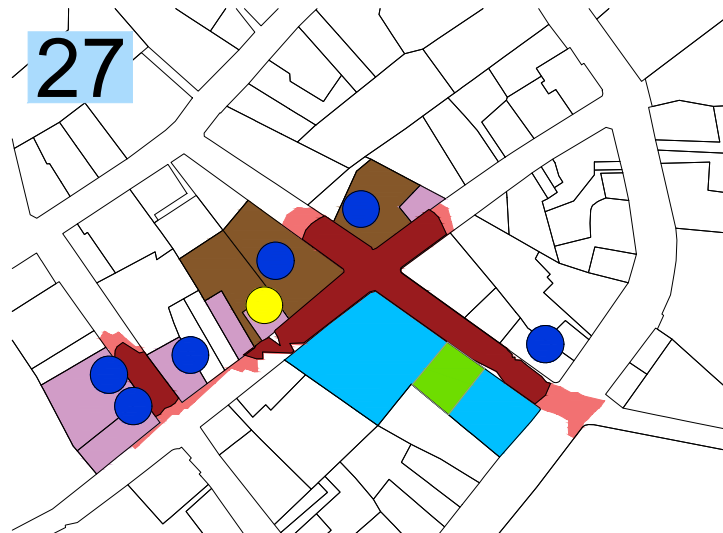
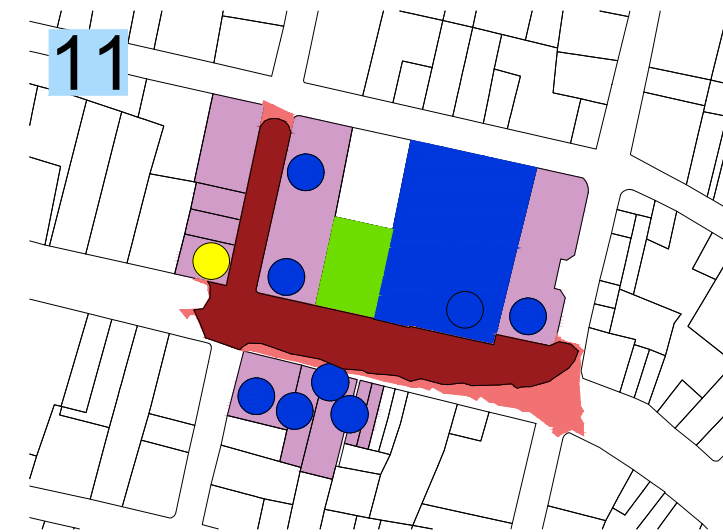
Leyenda	
	Amenaza media
	Amenaza alta
	Nuevas zonas verdes
	Límite barrial

Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)		
Escala: 1:6000	Título del plano: Zonas de ampliación de la red de espacios verdes	Fecha: Diciembre 2020 Nº de plano: 19

ESCENARIO OPTIMISTA



ESCENARIO PESIMISTA



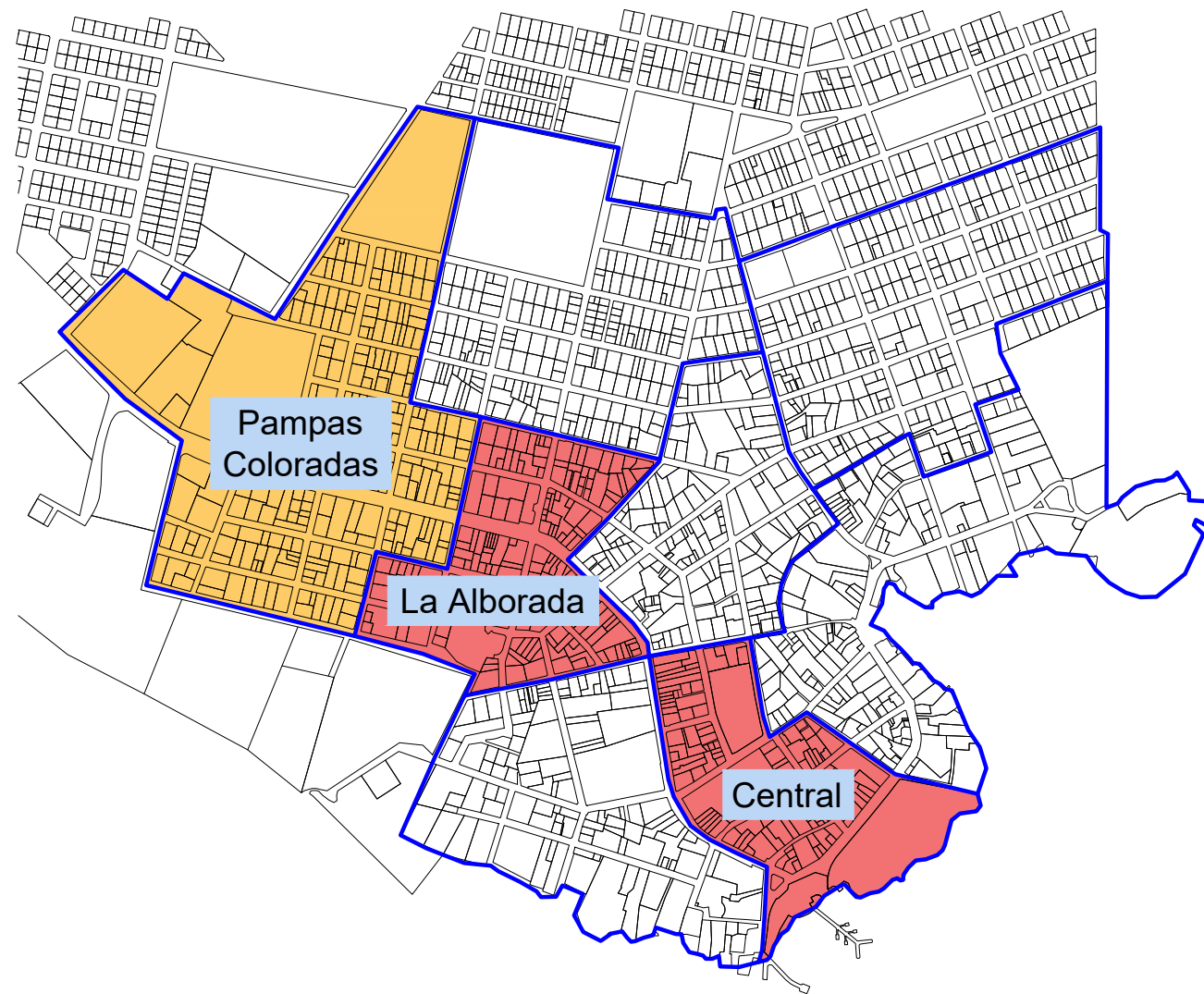
Leyenda	
	Amenaza media antes de medidas
	Amenaza media después de medidas
	Amenaza alta antes de medidas
	Amenaza alta después de medidas
	Sector terciario
	Servicios
	Inst. administrativas y estatales
	Parcelas no construidas
	Parcelas residenciales
	Alojamientos turísticos
	Nuevas zonas verdes

Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)			
Escala: 1:2500	Título del plano: Aproximación de superficies de encharcamiento y elementos expuestos tras la aplicación de medidas de adaptación sobre las zonas 10, 11 y 27 bajo escenarios optimista y pesimista		Fecha: Diciembre 2020
			Nº de plano: 20

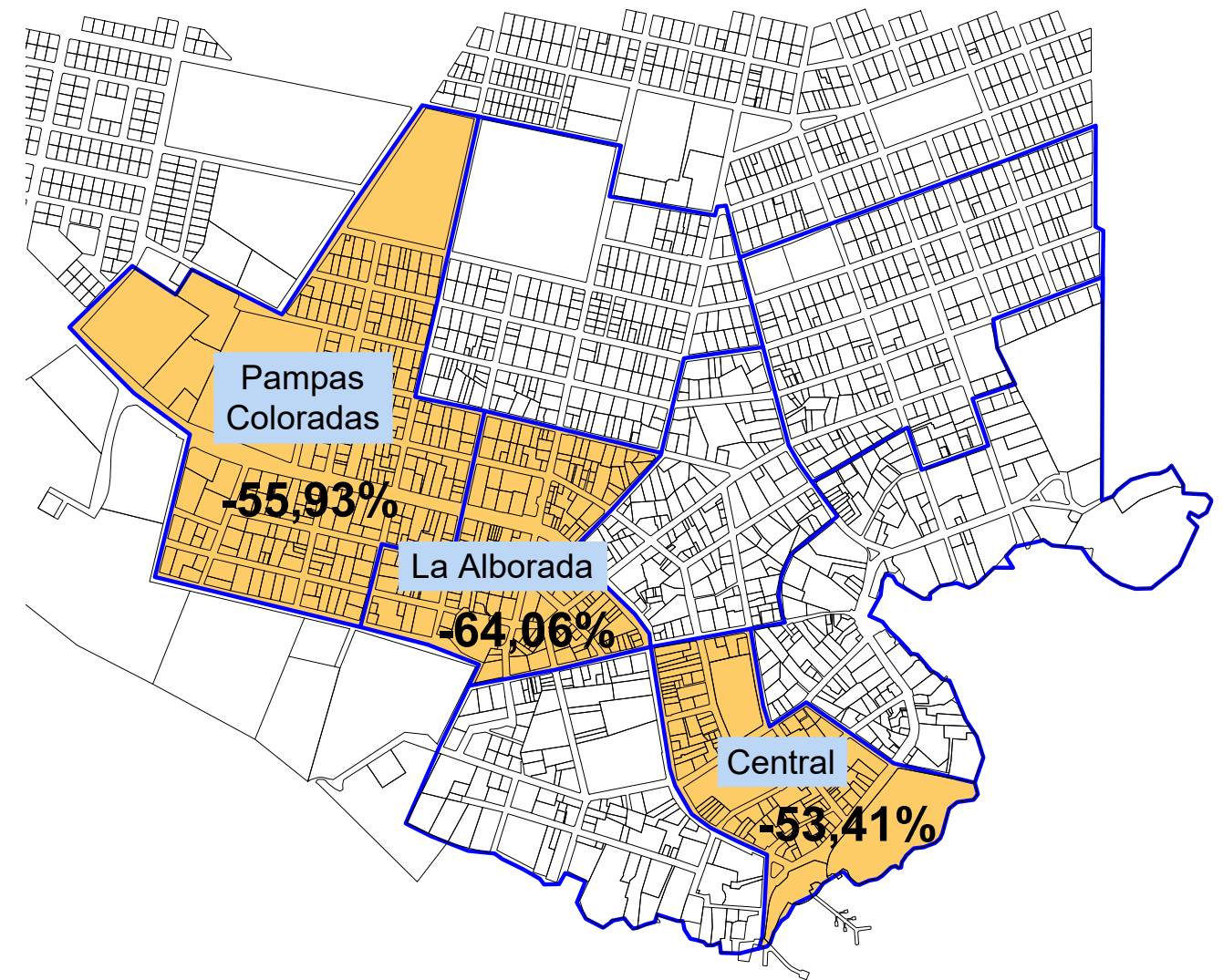




## SITUACIÓN INICIAL



## ESCENARIO OPTIMISTA

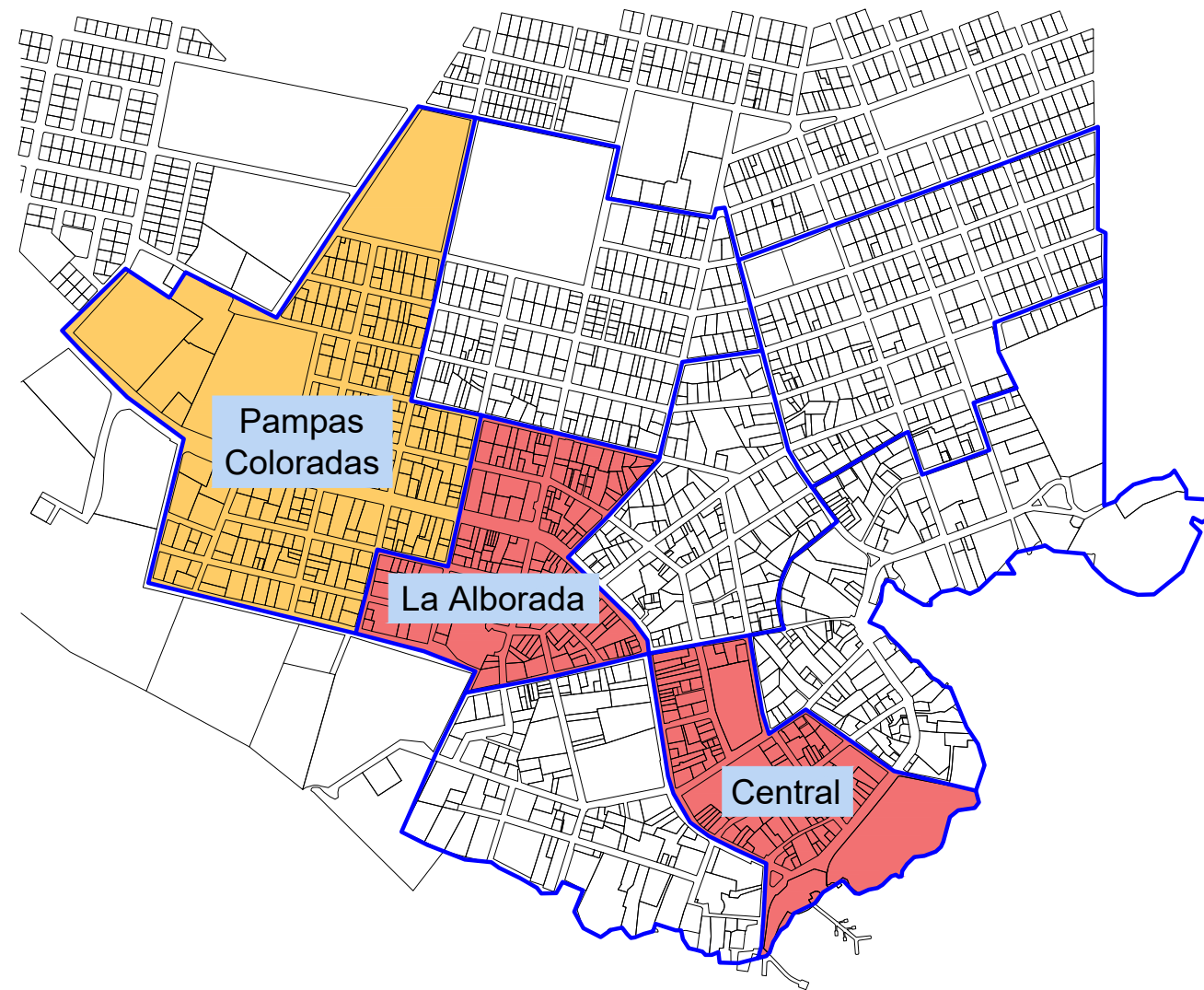


Leyenda	
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#90EE90; border:1px solid black;"></span>	Riesgo bajo
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#FFD700; border:1px solid black;"></span>	Riesgo medio
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:#FF6347; border:1px solid black;"></span>	Riesgo alto
<span style="display:inline-block; width:15px; height:1px; background-color:#0000FF; border:1px solid black;"></span>	Límite barrial

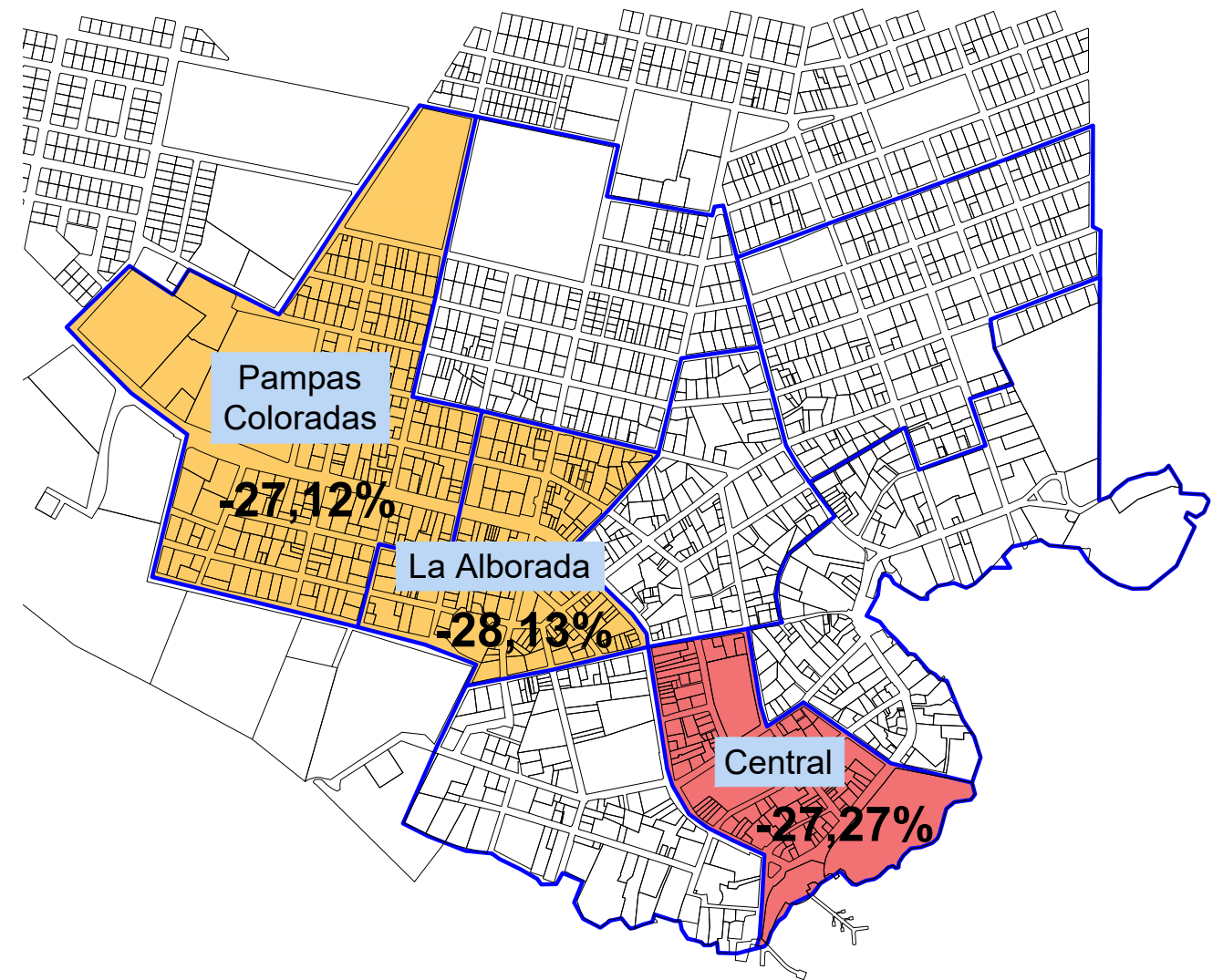
Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)		
Escala: 1:10000	Título del plano: Comparativa del nivel de riesgo entre las situaciones inicial y final bajo escenario optimista	Fecha: Diciembre 2020 Nº de plano: 21



## SITUACIÓN INICIAL



## ESCENARIO PESIMISTA



Leyenda	
<span style="color: green;">■</span>	Riesgo bajo
<span style="color: orange;">■</span>	Riesgo medio
<span style="color: red;">■</span>	Riesgo alto
<span style="color: blue;">—</span>	Límite barrial

Autor: Nuria Pérez Celaya		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Título del proyecto: Medidas urbanísticas de adaptación al Cambio Climático en Santa Cruz de Galápagos (Ecuador)		
Escala:  1:10000	Título del plano: Comparativa del nivel de riesgo entre las situaciones inicial y final bajo escenario pesimista	Fecha: Diciembre 2020 Nº de plano: 22